



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Sander Lilienthal

**KASE (*BETULA* SPP.) KOOREPARANDI UURIMINE
TARMEKO SPOON AS NÄITEL**

**BIRCH (*BETULA* SPP.) BARK THICKNESS REPAIR
ANALYSIS BASED ON TARMEKO SPOON LTD**

Magistritöö
Metsatööstuse õppekava

Juhendaja: teadur Allar Padari, *MSc*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Sander Lilienthal		Õppekava: metsatööstus	
Pealkiri: Kase (<i>Betula</i> spp.) kooreparandi uurimine Tarmeko Spoon AS näitel			
Lehekülgi:57	Jooniseid 22	Tabeleid:5	Lisasid:15
Osakond:		Metsatööstus	
Uurimisvaldkond:		Metsatööstus	
Juhendaja(d):		teadur Allar Padari, MSc	
Kaitsmiskoht ja aasta:		Tartu, 2017	
<p>Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli analüüsida kase (<i>Betula</i> spp.) koore paksuse sõltuvust diameetrist ning temperatuurist ja nende analüüsi põhjal esitada kase koore parand arvud Tarmeko Spoon AS-le. Kokku mõõdeti 2000 palki ja mõõtmised jagati soojaks ja külmaks perioodiks. Uurimuse käigus ilmnis erinevus soojal ja külmal perioodil mõõdetud koore paksuste vahel.</p> <p>Arvutuste koostamisel kasutati nelja regressioonvalemit, millest parimaks osutusid lineaarse regressiooni kaks erinevat kuju, sirge ning ruutparabool. Ruutparabooliga saab kirjeldada kahekordse koore paksuse sõltuvust diameetrist külmal ja soojal perioodil. Samuti on ruutparabooliga kirjeldatav koore osakaalu ja mahu sõltuvus diameetrist, punasüdamiku mahu sõltuvus diameetrist ning palgi mahust. Lisaks kirjeldab ruutparabool kahekordse koore paksust õhutemperatuurist.</p> <p>Sirgega on kirjeldatav koorega- ja kooreta diameetri ning koorega- ja kooreta mahu omavaheline seos. Samuti kirjeldab sirge koore osakaalu sõltuvust temperatuurist.</p> <p>Keskmine kahekordne koore paksus varieerus 8,50 mm ja 32,04 mm vahel sõltuvalt diameetrist. Keskmine koore osakaal palgi mahust oli 9,98%.</p> <p>Töö eesmärgina leitud kooreparandeid on võimalik kasutada erinevates ümarmaterjalidega tegelevates ettevõtetes, kes kasutavad oma töös kase vineeri- ja spoonipakku diameetritega 150 – 500 mm.</p>			
Märksõnad: kask, koorepaksus			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Sander Lilienthal		Speciality: Forest Industry	
Title: Birch (<i>Betula</i> spp.) bark thickness repair analysis based on Tarmeko Spoon LTD			
Pages:57	Figures:22	Tables:5	Appendixes:15
Department:		Forest Industry	
Field of research:		Forest Industry	
Supervisors:		researcher Allar Padari, MSc	
Place and date:		Tartu, 2017	
<p>The aim of the present Master Thesis is to analyse birch (<i>Betula</i> spp.) bark thickness relation to overall log volume and temperature and based on the study present birch bark correction values to Tarmeko Spoon LTD. 2000 logs were measured and measuerments were divided into two groups: warm and cold period. Occured difference between warm and cold period measurements.</p> <p>Four regression forumlas were used, where linear regression models straight and second grade polynom fitted the best. Second grade polynom is used to calculate dual bark thickness in cold and warm period using the log diameter. It is also used to calculate bark percentage and volume dependent on the diameter and overall log volume and birch heartwood percentage of the overall log volume.</p> <p>Single linear regression formula is used to calculate log diameter without the bark using the measured log diameter with the bark. It is also used to calculate overall bark percentage of the diameter and log volume without the bark using the overall log volume with the bark.</p> <p>Mean dual bark thickness varied between 8,50 and 32,04 mm dependent on the diameter of the log. Mean bark percentage of the total log volume was 9,98%.</p> <p>The research indicated that the constructions to the bark thickness can be used in various sawmills that use birch plywood logs in the diameter range 150 – 500 mm.</p>			
Keywords: Birch, bark thickness			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. TARMEKO GRUPP ETTEVÕTETEST	8
2. METOODIKA	9
3. TULEMUSED JA ANALÜÜS	13
3.1. Kahekordse koore paksuse sõltuvus diameetrist	13
3.2. Koore mahu sõltuvus diameetrist	19
3.3. Koore osakaalu sõltuvus diameetrist ja temperatuurist	22
3.4. Kahekordse koore paksuse sõltuvus diameetrist ja temperatuurist	25
3.5. Kase punasüdamiku analüüs.....	30
3.6. Kooreparandite väärtused	32
KOKKUVÕTE	35
KASUTATUD KIRJANDUS	37
BIRCH (BETULA SPP.) BARK THICKNESS REPAIR ANALYSIS BASED ON TARMEKO SPOON LTD	39
LISAD	42
Lisa 1. Koorega diameetri jääkide sagedusdiagramm normaaljatuse joonega	43
Lisa 2. Koore mahu osakaalu jääkide sagedusdiagramm normaaljaotuse joonega	44
Lisa 3. Koore mahu jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega	45
Lisa 4. Koore mahu erinevuste jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega	46
Lisa 5. Koore osakaalu sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega.....	47
Lisa 6. Sooja perioodi koore osakaalu jääkide sagedusdiagramm normaajaotuse joonega	48
Lisa 7. Külma perioodi koore osakaalu jääkide sagedusdiagramm normaaljaotuse joonega	49
Lisa 8. Kahekordse koore paksuse jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega	50
Lisa 9. Sooja perioodi kahekordse koore paksuse jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega.....	51
Lisa 10. Külma perioodi kahekordse koore paksuse jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega	52
Lisa 11. Punasüdamiku mahu jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega	53
Lisa 12. Punasüdamiku mahu jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega	54

Lisa 13. Kahekordse koore paksuse sõltuvus diameetrist, koondtabel.....	55
Lisa 14. Sooja perioodi kahekordse koore paksuse sõltuvus diameetrist, koondtabel.....	56
Lisa 15. Külma perioodi kahekordse koore paksuse sõltuvus diameetrist, koondtabel.....	56

SISSEJUHATUS

Käesolevas töös on käsitletud kooreparandi uurimist aru- ja sookase (*Betula pendula* ja *Betula pubescens*) palkide alusel. Teema valik tulenes ettevõtte Tarmeko Spoon AS vajadusest kase kooreparandite järgi. Teema on aktuaalne, kuna õigete parandite kasutamine hoiab ära ebatäpsused palkide mahu arvutamisel. Töö eesmärgiks oli uurida koore mahu sõltuvust diameetrist ning leida regressioonanalüüside abil koore mahu sõltuvus palgi diameetrist ja mahust. Samuti sooviti uurida temperatuurist tulenevaid koore mahu muutusi, uurides eraldi andmeid nii soojal kui külmal perioodil. Uurimuses kasutatud andmed on autori pool kogutud, kus kokku mõõdeti ära 2000 kasepalgi andmed. Mõõtmisandmete kogumiseks kulus ligikaudu 84 tundi. Palkide mahtude arvutamisel on kasutatud Nilsoni valemit (Jänes 2001: 7). Palgi pikkuse andmed saadi sorteerliini lasermõõtja tulemustest. Koore paksus ja maht oleneb puuliigist, genotüübist ja kasvukohast. Koore mahtu väljendatakse suhtarvuna puu tüve koorega mahust. Hariliku kuuse (*Picea abies* L.) ja hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) kohta on läbi viidud küllaltki mitmeid uuringuid ning nende koore mahu protsent on vastavalt 7,0-12,6% ja 6,1-18,5%. See sõltub suuresti puu vanusest, tüve rinnasdiameetrist, kõrgusest ning koondekoefitsendist. Kase perekonna kohta on Vausi andmetel esitada vaid mõned ligikaudsed andmed, kus keskmine koore mahu protsent on umbes 11% ning võib kõikuda vahemikus 7-20%. Mahu protsent kahanev tüükaotsas kõrguse suunas kiiresti, misjärel hakkab aeglasel kasvama. (Vaus 2005: 31)

Kask (*Betula* spp.) omab põhjapoolkeral suurt areaali 40 erineva liigina. Seda võib esineda väikestest põõsastest kuni suurte heitleheliste metsapuudeni välja (McCown 1986). Kask on maltspuiduline puuliik, kollakasvalge või veidi punaka puiduga, mille areaal on kogu põhjapoolkeral. Puit on hajussooneline, kus sooned on väikesed ja ühtlaselt jaotunud, mille tõttu on aastarõngaid raske eristada. Omadustelt pehme ja kergesti töödeldav, kuid vähe vastupidav mädanikele ja putukatele. Tänu sirgekiulisele on kasutuses mööblitööstuses, painutatud detailide ja vineeri tootmises. (Saarman, Veibri 2006: 244)

Puukooreks loetakse kõik kihid, mis asuvad väljaspool kambiumi. Koore osa moodustab ligikaudu 10% kogu puu mahust, sõltuvalt puuliigist. Koor koosneb füsioloogiliselt aktiivsest sisekihist ehk niinest ja surnud rakkudega väliskihist ehk korbast. Mööda niinekihti toimub puumahlade transport puutüve kõikidesse osadesse. Tüve ristisuunas täidavad seda ülesannet säskiired. Korba ülesanne on kaitsta puud mehaaniliste, keemiliste ja mikrobioloogiliste kahjustuste eest. (Saarman, Veibri 2006: 32)

Tüve jämenedes hakkab mitmete puuliikide korp ebaühtlaste pikilõhedena pragunema. Sellist koort nimetatakse kärnikkooreks, mida esineb vanematel arukaskedel, sangleppadel ja tammel. Kasekoor on valge, nahkjas, sitke toht, mis koosneb mitmest õhukesest kihist, mille vahed on täidetud õhuga ja mille tihedus toorelt on 500 kg/m^3 . Kasekoore valge värvuse põhjustavad betuliinkristalle sisaldavad rakud. (Saarman, Veibri 2006: 33)

1. TARMEKO GRUPP ETTEVÕTETEST

Tarmeko Gruppi kuuluvad viis ettevõtet, mis on spetsialiseerunud puidu töötlemisele ja mööbli tootmisele vastavalt tänapäevastele nõudmistele. Ettevõtte asutati 1947. aastal, millest hilisemalt kujunes Tarmeko Pehmemööbel OÜ, Tarmeko LPD OÜ, Tarmeko Spoon AS, Tarmeko Metall OÜ ning Tarmeko KV OÜ. Kogu grupis on ligikaudu 200 töötajat. Oma toodangust eksporditakse 85%. Tänu pikaajalistele kogemustele suudetakse teostada idee valmistoodanguks ning see kliendini tarnida. Peamiselt tegeletakse pehme mööbli, liimitud ja painutatud vineerist detailide tootmise ja kase treispoonide tootmisega. Lisaks tegeletakse kinnisvara projektide arrendamise ning metallitöö ja sellega seonduvate teenuste pakkumisega. (Tarmeko 2017)

Tarmeko Spoon AS toodab peamiselt kase treispoonide. Lisaks kasele valmistatakse spoonide ka lepast. Ettevõtte eelistab palgitarnijatena säästvalt majandatud metsade põhimõtteid toetavaid ettevõtteid. Ümarmaterjal tarnitakse Balti riikidest. Samuti on omandatud 2013. aastal FSC® sertifikaat. Põhiline on kase treispoonide valmistamine paksuses 1.0 kuni 2 mm ning pikkuses 1300- 1850 mm niiskussisaldusega 6-8%. Lisaks sellele toodetakse lihvimata kasevineeri, paksuses 6-18 millimeetrit. Aastane tootmiskaht on ligikaudu 30000 m³. (Tarmeko Spoon ... 2017)

2. METOODIKA

Antud uurimus on läbi viidud Tartumaal Luunja vallas Tarmeko Spoon AS territooriumil ajavahemikul oktoober 2016 kuni veebruar 2017. Töö eesmärgiks oli mõõta soojal ja külmal perioodil arukase (*Betula Pendula*) ja sookase (*Betula pubescens*) koore paksust. Kuna väliselt on raske eristada neid kahte liiki, arvati kõik palgid ühe liigi alla ning liigilisi eriärasusi andmete analüüsimisel ei arvestatud.

Mõõtmise algas palkide numereerimisega, kus iga palk märgiti järjekorranumbriga, et hilisemalt oleks võimalik mõõdetud tulemusi võrrelda sorteerliini lasermõõdja tulemustega. Palgid märgiti ära kas sorteerliinil või auto koormas (joonis 2.1).



Joonis 2.1. Märgitud palgid auto koormas

Mõõtmise toimus ladvapoolest otsast ning igale palgile tehti kuus mõõtmist. Selleks laotati palgid maapinnale laiali (joonis 2.2), tagamaks palkide parema mõõtmise. Mõõtmiseks kasutati täpsuskluppi Mantax Blue 650 mm. Ettevõttes on lubatud lihtkõverus 2% ning seda ületavad palgid mõõdeti ära sorteerliini taskutes, kuna need ei sobinud kvaliteedi poolest spooni või vineeri tootmiseks ning neid tuli eraldi transportida. Kui seda

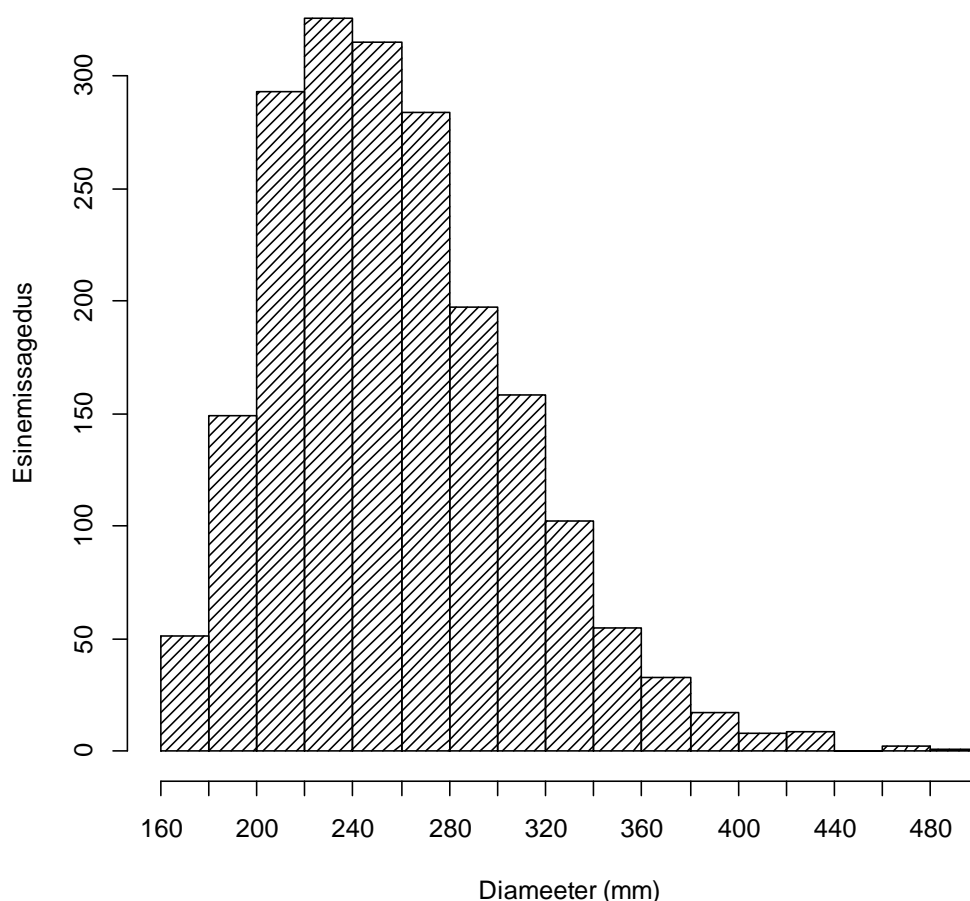
ei olnud võimalik teha sorteerliini taskus, laotati palgid analoogselt laiali joonisel 2.2. näidatule sorteerliini kõrvale. Vajadus sellisel viisil toimida tulenes vajadusest hoida sorteerliini töö võimalikult kiire ja häirimata. Käesoleva lõputöö autori poolt läbi viidud palkide mõõtmised aeglustasid liinide tööd, mistõttu ei osutunud võimalikuks andmete kogumine soovitud päevadel vaid tuli leida tootmises sobiv aeg, kus oli võimalik mõõtmisi läbi viia. Tulenevalt sellest jäi keskmise õhutemperatuuri amplituut küllaltki väikseks, mida mõjutas ka uurimisteema liiga hiline avaldamise soov ning küllaltki soe talv. Mõõtmised leidsid aset temperatuuride vahemikus $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ kuni $7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Käesolevas uuringus jagati andmed talviste ja suviste vahel järgmiselt: kõik mõõtmised, mis leidsid aset keskmisel õhutemperatuuril üle $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, liigitati sooja perioodi alla ning kõik, mis teostati alla $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, liigitati külma perioodi mõõtmisteks. (Saaremäe 2017)



Joonis 2.2. Laotatud palgid valmis mõõtmiseks

Kõigepealt mõõdeti palgi diameeter koos koorega ning seejärel sama koha pealt koore alt. Sama tegevus toimus teistkordselt, valides optimaalse koha palgi diameetri saamiseks. Lähtuti samast põhimõttest, mida kasutatakse palgi mahu määramisel, kus mõõdetakse palki nii horisontaalselt kui veritkaalselt, võttes arvesse palgi ebasümmeetrisust, et saada usaldusväärne keskmine diameeter (Jänes 2001: 10). Tulenevalt ettevõtte soovile tehti kaks mõõtmist punasüdamikule, määramaks ära selle mahu osakaalu palgi mahust.

Andmete sisestus toimus Microsoft Exceli keskkonnas. Hilisem andmete analüüs toimus vabavara programmiga R. Mõõdetud palgid jaotati 20 mm sammuga diameetriklassidesse (joonis 2.3). Kõige rohkem mõõtmisi toimus diameetrite 200 mm ja 280 mm vahel.



Joonis 2.3. Mõõdetud palkide diameetrite jaotumine diameetriklassidesse

Andmeid analüüsiti kasutades erinevaid regressiooni võrrandeid. Välja valiti kõige sobilikum mudel, mis kirjeldas andmeid kõige usaldusväärsemalt. Jooniste iseloomustamiseks sobib kõige paremini determinatsioonikordaja (R^2). „Determinatsioonikordaja iseloomustab, kui suurt osa funktsioonitunnuse varieeruvusest kirjeldatakse regressioonivõrrandiga.“ (Kiviste 2007: 66). Leidmaks kõige sobivama joone kuju joonisele, vaadeldi erinevate prognoosimudelite determinatsioonikordajat. Mida suurem on R^2 väärtus, seda paremini sobib antud prognoosimudel seost kirjeldama. (*Ibid.*: 66). Vaadeldi lisaks detrerminatsioonikordajale ka olulisuse tõenäosust (*p-value*). Omavaheline seos on oluline juhul, kui olulisuse tõenäosus on väiksem, kui 0,05 (Sims, Kiviste 2014: 47). Kontrollimaks andmete normaaljaotusele vastavust, kasutati

programmis R funktsiooni „*residuals*“ jääkide arvutamiseks (Crawley 2007:401). Teostati vaadeldava seose jääkide histogramm. Sellega kontrolliti, kas andmed on kirjeldatavad normaaljaotusega. Histogrammile lisati normaaljaotuse joon funktsiooniga „*dnorm*“ (Crawley 2007: 356).

Uurimuses võrreldi mõõdetud tulemusi sorteerliini lasermõõtja Rema Control mõõtetulemustega. Protsentuaalsete mahtude erinevuste arvutamisel lähtuti lasermõõtja andmetest, millest arvutati autori poolt mõõdetud mahtude erinevusprotsent. Lasermõõtja mõõtis minimaalse palgi diameetri, mille alusel arvutati palgi maht kasutades Nilsoni valemit (Jänes 2001).

Analüüsi aluseks oli statistikaprogrammi R funktsioon „*lm*“ (Crawley 2007). Katsetati erinevaid võrrandikujusid (lineaarne, eksponent- ja logaritmifunktsioon, ruutparabool). Sobiv mudelikuju valiti determinatsioonikordaja väärtuse alusel. Suuremat osa vaadeldavatest seostest sobib kirjeldama ruutparabool:

$$y = a_1 \cdot d^2 - a_2 \cdot d + a_3, \quad (1)$$

kus y – vaadeldav tunnus, mille ühikud esitatud tabelis 3.1;

d – palgi koorega diameeter, mm;

a_1, a_2, a_3 – valemite parameetrid, mille väärtused on esitatud tabelis 3.1

Ruutparabooliga saab kirjeldada kahekordse koore paksuse sõltuvust diameetrist nii külmal kui soojal perioodil, koore osakaalu protsendi ja mahu sõltuvust diameetrist, punasüdamiku mahu sõltuvust diameetrist ja koorega mahust.. Lisaks uuriti kahekordse koore paksuse sõltuvust temperatuurist. Valemite parameetrid on kajastatud tabelis 3.1.

Lisaks ruutparaboolile sobis andmeid kirjeldama sirge:

$$y = a_1 \cdot d + a_2, \quad (2)$$

kus y – vaadeldav tunnus, mille ühikud esitatud tabelis 3.2;

d – palgi koorega diameeter, mm;

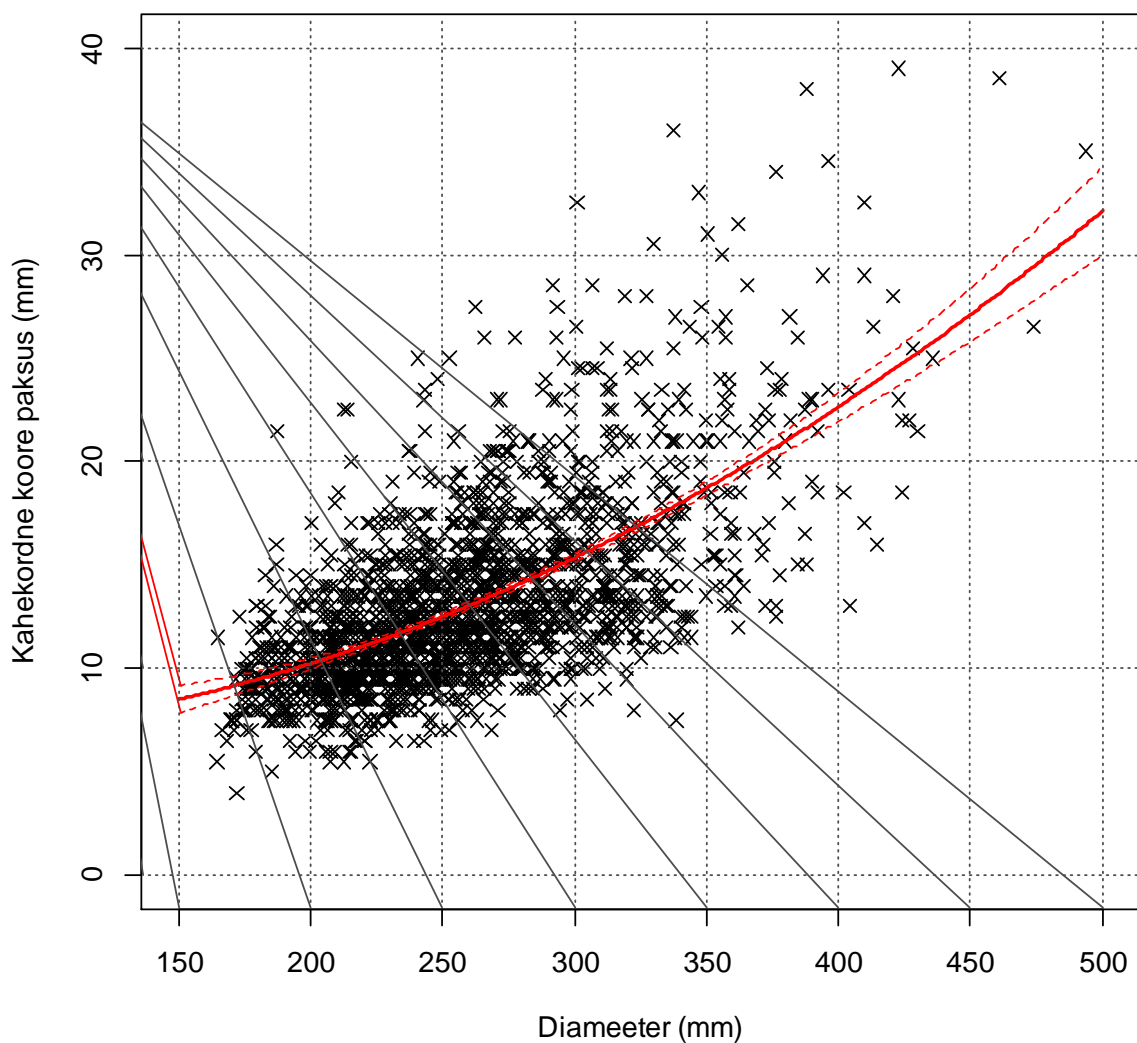
a_1, a_2 – regressioonsirge vabaliige, mille väärtused on esitatud tabelis 3.1

Lineaarse regressiooniga saab kirjeldada koorega- ja kooreta diameetri ning koorega- ja kooreta mahu omavahelist seost. Samuti on lineaarselt kirjeldatav koore osakaalu sõltumine temperatuurist ja külma perioodi koore osakaalu sõltuvus temperatuurist. Valemite parameetrid on kajastatud tabelis 3.2.

3. TULEMUSED JA ANALÜÜS

3.1. Kahekordse koore paksuse sõltuvus diameetrist

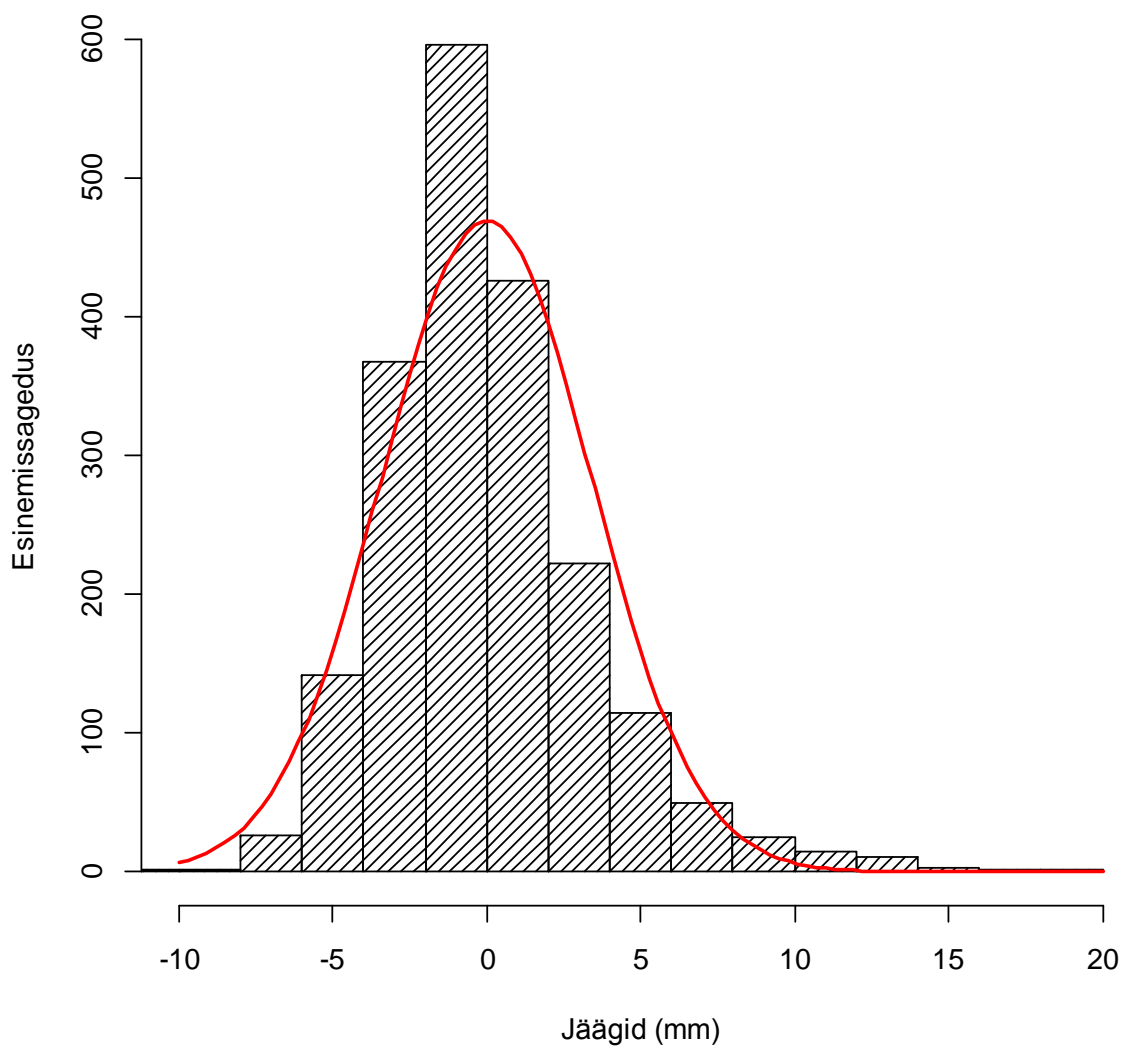
Mõõdetud 2000 palgi andmed on esitatud joonisel 3.1. Analüüsitud mudelitest osutus parimaks ruutparabool.



Joonis 3.1. Koore kahekordse paksuse sõltuvus diameetrist koor 95% usalduspiiridega

Diameetri suurenedes suureneb kahekordse koore paksus (joonis 3.1). Antud seose determinatsioonikordaja on 0,413. Diameetri vahemikus 150-200 mm on keskmine kahekordne koore paksus 9,33 mm, kus aga 300-350 mm vahemikus on 16,99 mm.

Statistilised parameetrid on esitatud tabelis 3.1. Valemi jääkide jaotuse võrdlemisel kasutati Shapiro-Wilksi testi, mis andis erinevuse normaaljaotusest ($p < 0,05$). Jääkide jaotusest koostati histogramm (joonis 3.2).



Joonis 3.2. Koore kahekordse paksuse jääkide sagedusdiagramm koor normaaljaotuse joonega

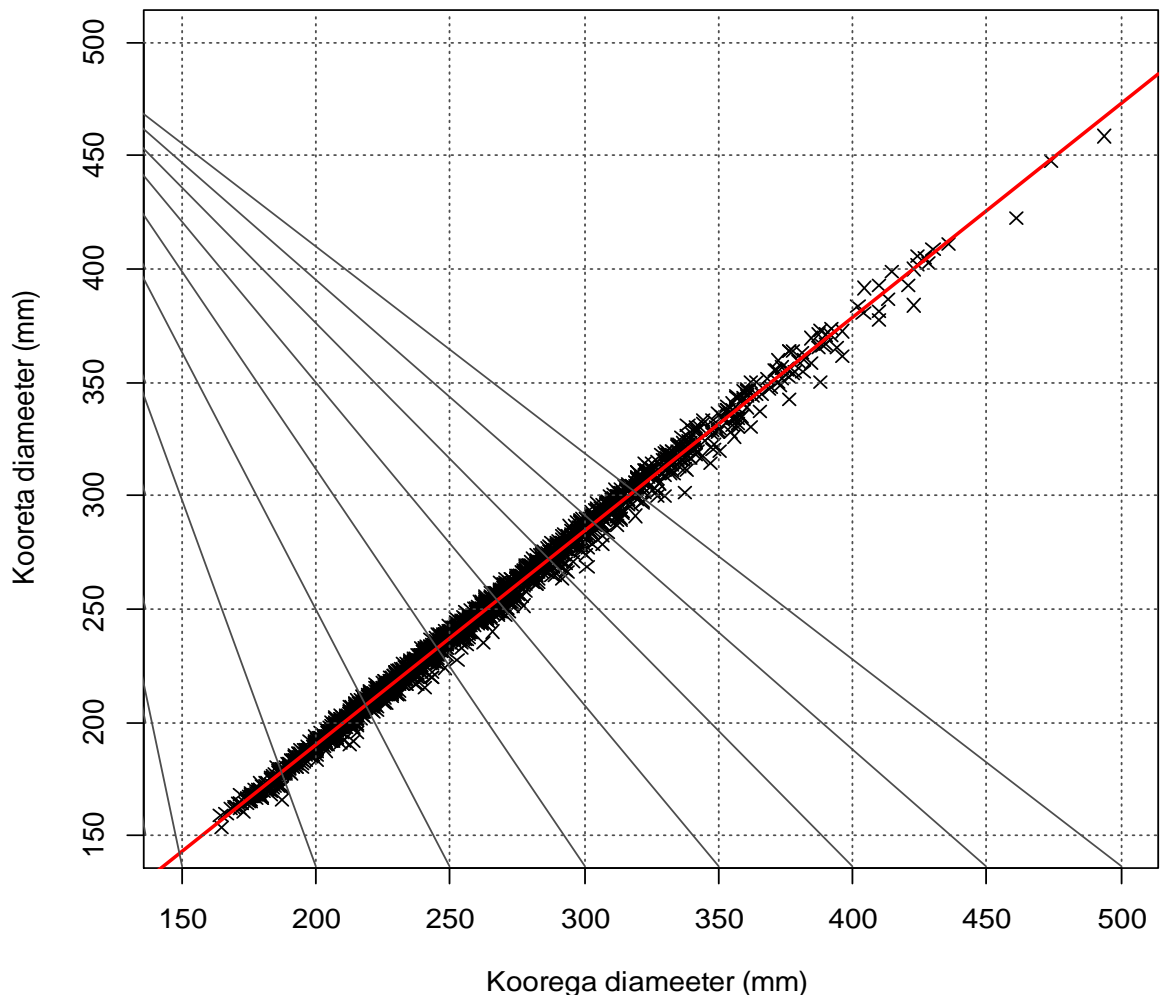
Nagu kajastub jooniselt 3.2, ei ole jääkide jaotus erinev normaaljaotusest. Järgnevalt sooviti teada, kas koorega ja kooreta diameetrite vahel esineb seos. Analüüsitud mudelitest osutus parimaks lineaarne mudel (joonis 3.3).

Tabel 3.1. Kase ruutparabooli regressioonivalemite parameetrid

Sõltuv muutuja (y)	Statistilised parameetrid			Valemi parameetrid		
	R ²	prognoosi- viga	p-väärtus	a ₁	a ₂	a ₃
Kahekordne koore paksus, mm	0,413	3,403	$<2,2*10^{-16}$	$1,090*10^{-4}$	0,0036	6,588
Koore osakaal diameetrist, %	0,009	1,250	$6.855*10^{-5}$	$2,750*10^{-5}$	0,0137	6,743
Koore osakaal palgi mahust, %	0,008	2,358	$1,06*10^{-4}$	$5,371*10^{-5}$	0,0273	13,310
Koore maht, m ³	0,667	0,667	$<2,2*10^{-16}$	$4,618*10^{-7}$	0,00001	0,008
Erinevuse protsent	0,050	4,854	$<2,2*10^{-16}$	$8,189*10^{-5}$	0,0673	11,210
Soe periood, koore osakaal diameetrist, mm	0,023	1,254	$2,223*10^{-8}$	$3,770*10^{-5}$	0,0178	7,076
Külm periood, koore osakaal diameetrist, mm	0,336	6,512	$<2,2*10^{-16}$	$-9,286*10^{-6}$	-0,0964	2,592
Kahekordne koore paksus (temperatuurist), mm	0,014	4,409	$2,925*10^{-7}$	$-3,99*10^{-2}$	-0,0880	13,506
Kahekordne koore paksus, soe periood, mm	0,449	3,419	$<2,2*10^{-16}$	$1,580*10^{-4}$	0,0259	8,944
Kahekordne koore paksus, külm periood, mm	0,336	3,256	$<2,2*10^{-16}$	$-4,643*10^{-6}$	-0,0482	1,296
Punasüdamiku maht diameetrist, m ³	0,246	0,018	$<2,2*10^{-16}$	$9,063*10^{-7}$	-0,0003	0,031
Punasüdamiku maht üldmahust, m ³	0,234	0,018	$<2,2*10^{-16}$	$1,496*10^{-2}$	0,0194	0,002

Tabel 3.2. Lineaarse regressiooni parameetrid

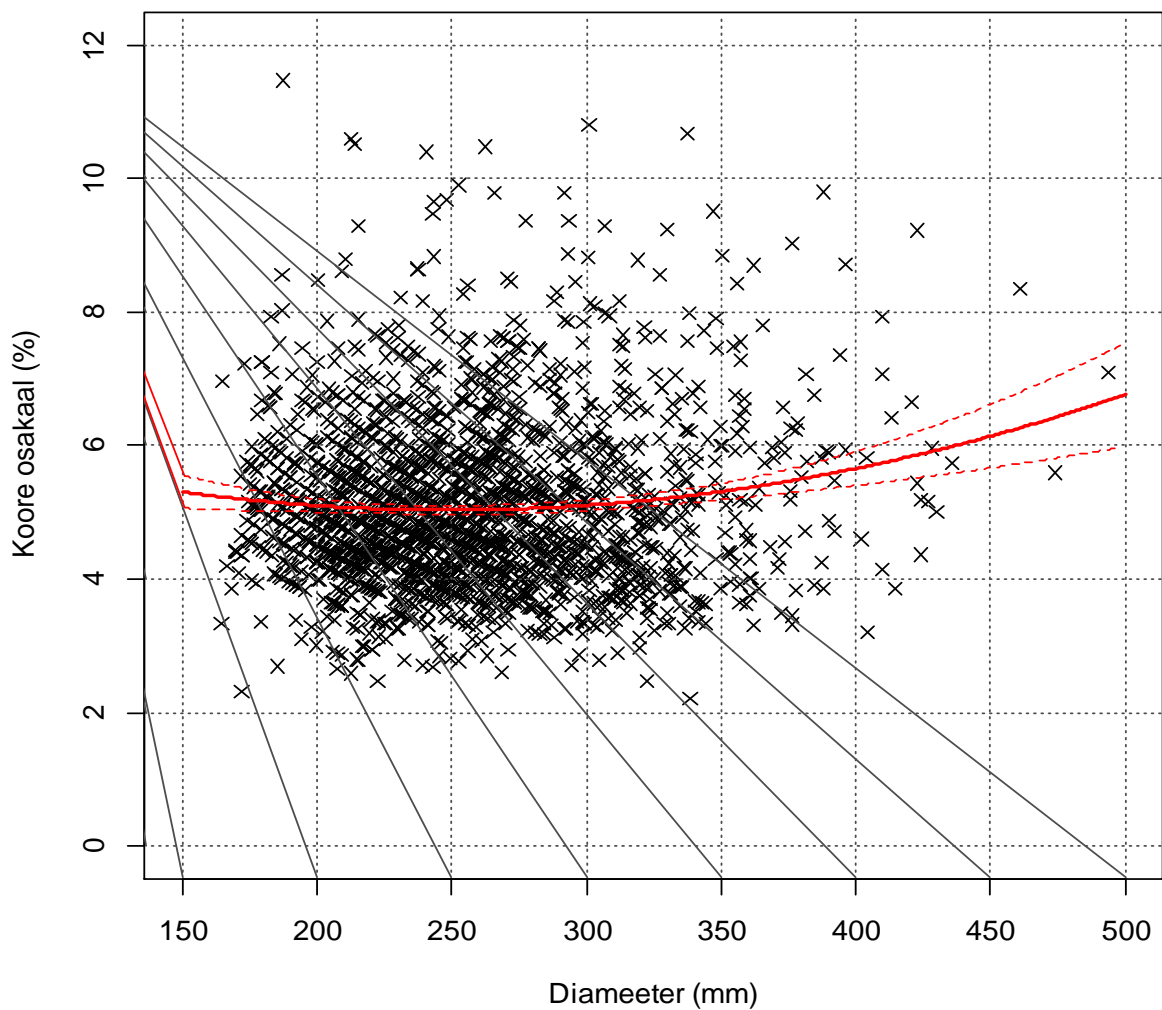
Sõltuv muutuja (y)	Statistilised parameetrid			Valemi parameetrid	
	R ²	prognoosi- viga	p-väärtus	a ₁	a ₂
Kooreta diameeter, mm	0,995	3,425	$<2,2*10^{-16}$	0,0943	1,4718
Kooreta maht, m ³	0,995	0,006	$<2,2*10^{-16}$	0,8974	0,0005
Koore osakaal temperatuurist, %	0,017	1,246	$2,525*10^{-9}$	-0,0561	5,1651



Joonis 3.3. Koorega ja kooreta diameetri omavaheline seos

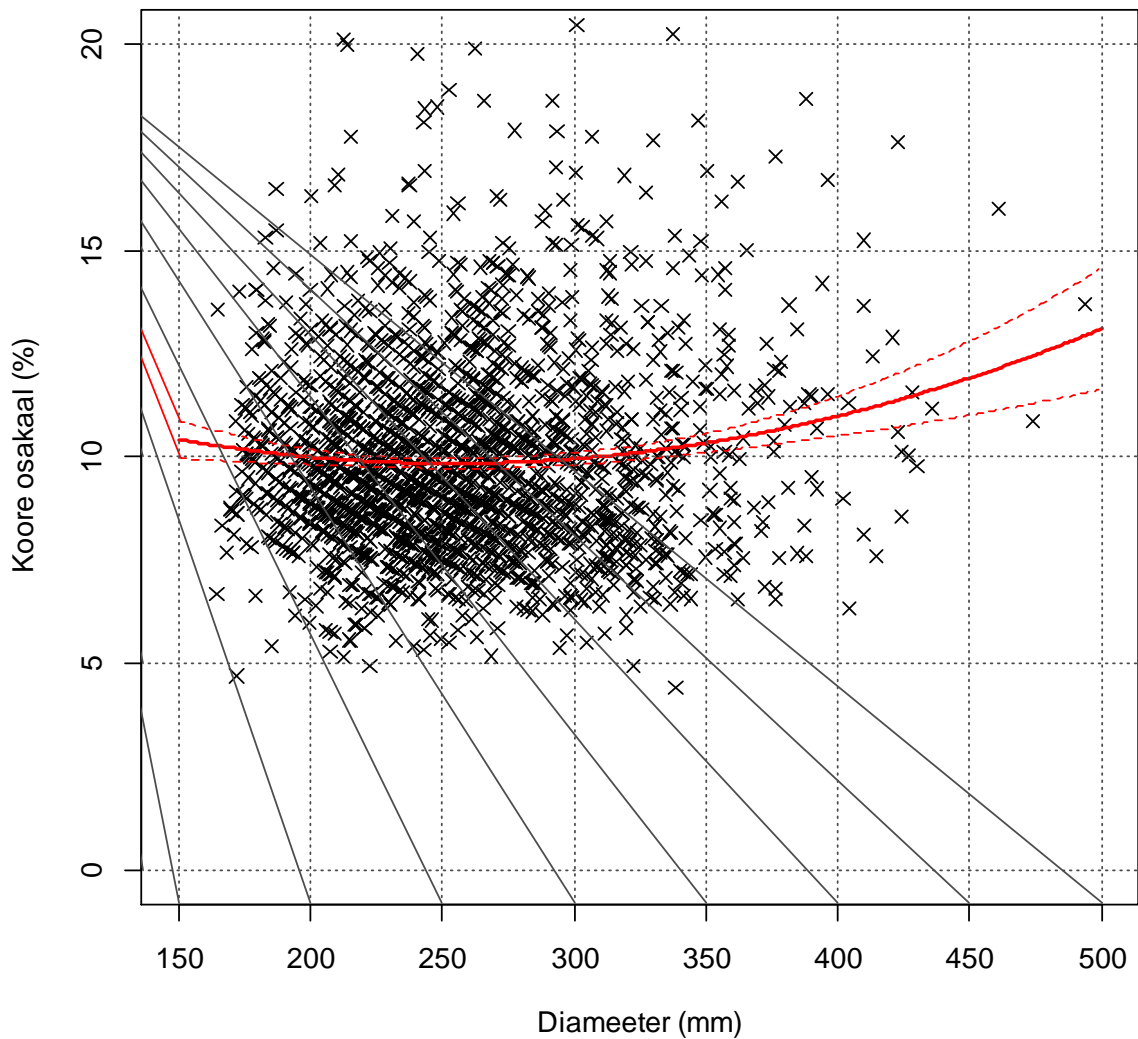
Determinatsioonikordaja väärtuseks saadi 0,995, mis näitab kindlat seost koorega ja kooreta diameetrite vahel. Saab kindlalt väita, et palgi koorega diameetri suurenedes suureneb ka palgi kooreta diameeter. Koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra suureneb kooreta diameeter 0,94 mm võrra. Jääkide jaotusest koostati histogramm (lisa 1.)

Mõõdetud 2000 kasepalgi koore osakaalu andmed on esitatud joonisel 3.4. Antud joonist sobis iseloomustama kõige paremini ruutparabool (valem 1). Olulisuse tõenäosus on $<9.38 \cdot 10^{-6}$, mis kinnitab kahe tunnuse omavahelise seose olulisust.



Joonis 3.4. Koore osakaalu sõltuvus diameetrist koos 95% usalduspiididega

Koore osakaal diameetrist langeb diameetri vahemikus 150-260 mm, kus on keskmine koore osakaal 5,12 %. Alates 270 mm on hakkab koore osakaal diameetrist tõusma. Vahemikus 300-350 mm on keskmine koore osakaal diameetrist 5,17 %. Tabelis 3.1. on esitatud regressioonjoone parameetrid. Mõõdetud 2000 palgi keskmine koore osakaal diameetrist oli 5,10 % standardhälbe 1,26 %. Jääkidest jaotusest koostati sagedusdiagramm, millel ei esinenud erinevust normaaljaotusest (lisa 2).



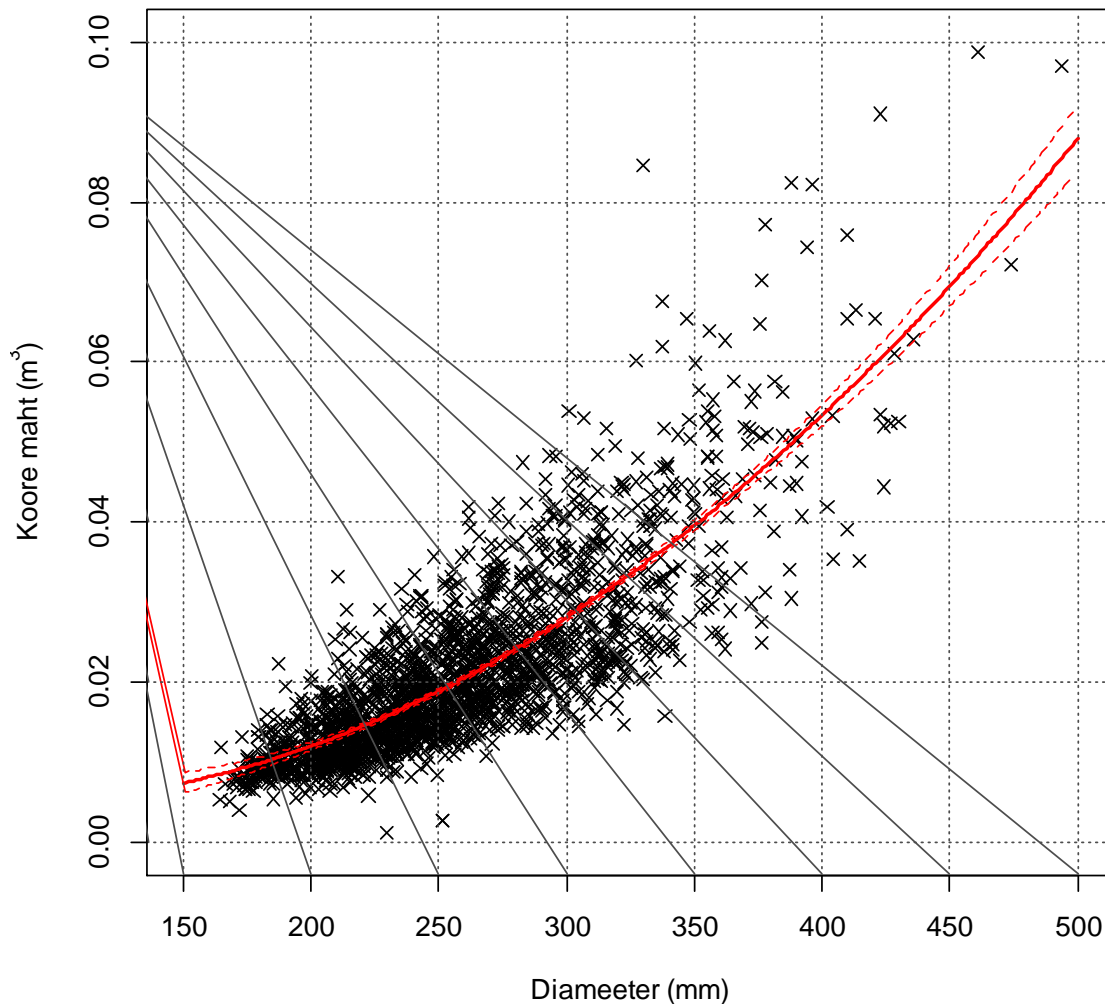
Joonis 3.5. Koore osakaal arvatud palgi mahust ning selle sõltuvus diameetrist koos 95% usalduspiiridega

Võrreldes joonised 3.4 ja 3.5 on näha koore osakaalu erinevust. Joonis 3.4 iseloomustab koore osakaalu palgi diameetrist, kus joonis 3.5 illustreerib koore mahu osakaalu arvatud palgi mahust. Vaadeldes koore osakaalu sõltuvust arvatud palgi mahust, on keskmine koore osakaal 9,98 % standardhällbega 2,37 %. Enim esinenud diameetriklasside 220 kuni 280 mm keskmine koore osakaal palgi mahust oli 9,79 %. Jääkidest jaotusest koostati sagedusdiagramm, millel ei esinenud erinevust normaaljaotusest (lisa 2).

Kriguli (1971: 39) andmeil on kase kooremaht 15% kogu puu tüvemahust. Lätis läbi viidud uuringu tulemusel saadi arukase koore osakaaluks tüve mahust 10,4 % kuni 16,7 %, kus 10,4 % vastas diameetrile 300 mm ning 16,7% diameetrile 50 mm. Tulenevalt sellest saab väita autori poolt arvatud koore osakaalu tüve mahust usaldusväärseks, kuna enim mõõtmisi leidis aset diameetrivahemikus 200 mm kuni 280 mm.

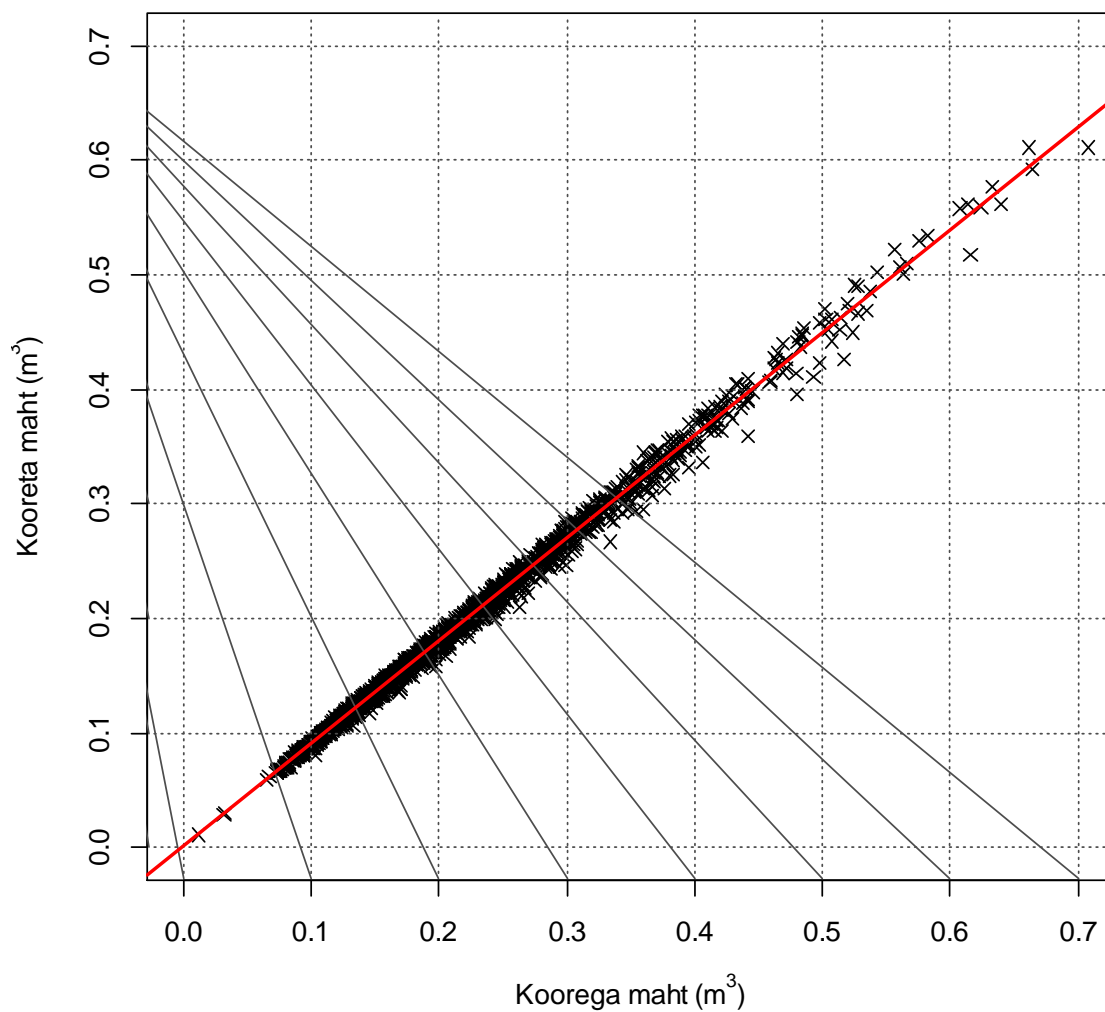
3.2. Koore mahu sõltuvus diameetrist

Mõõdetud 2000 palgi koore mahu sõltuvus diameetrist on kajastatud joonisel 3.6. Parimaks mudeliks osutus ruutparabool.



Joonis 3.6. Koore mahu sõltuvus palgi diameetrist koos 95% usalduspiiridega

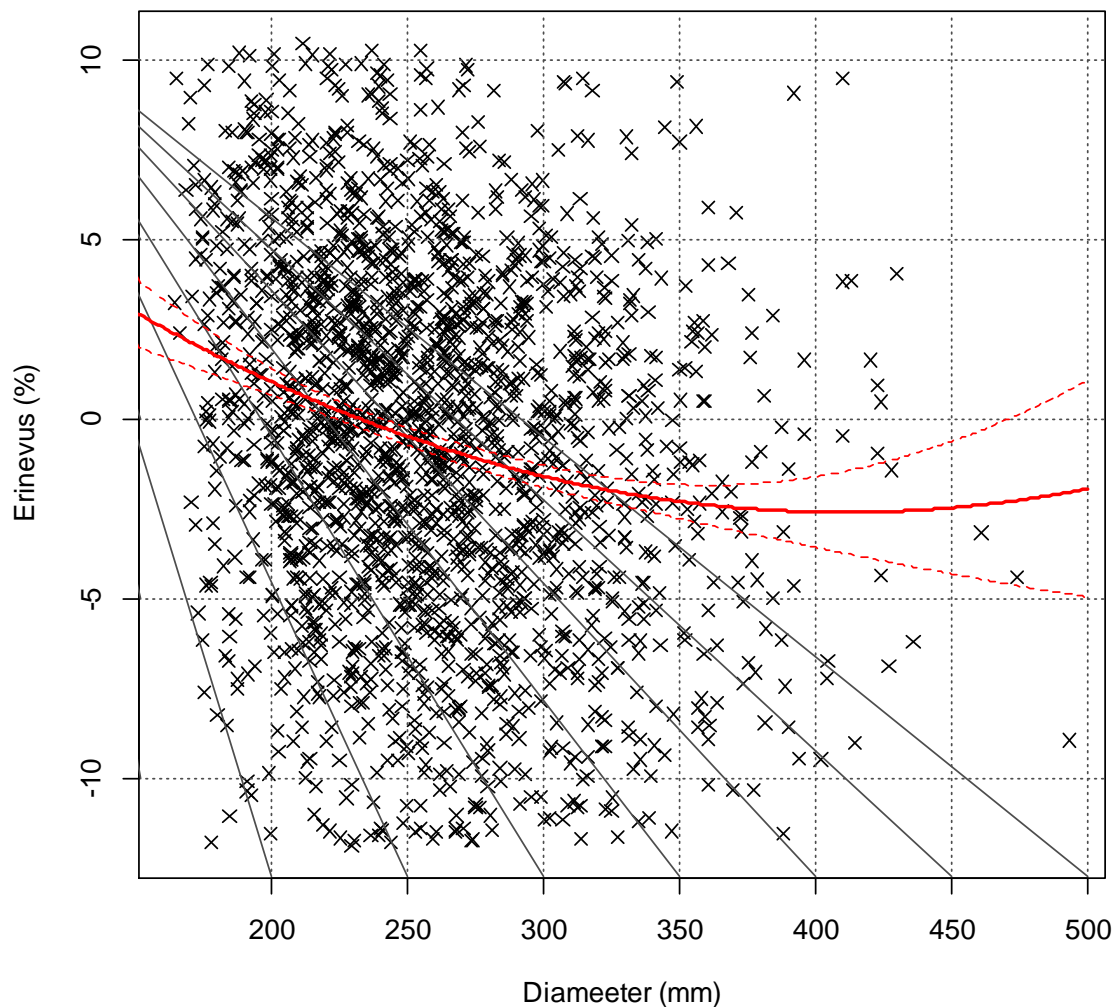
Jooniselt 3.6. on näha koore mahu suurenemist vastavalt diameetri suurenemisega. Determinatsioonikordaja antud joonisel on 0,67. Regressioonjoone parameetrid ning statistilised näitajad on kajastatud tabelis 3.1. 200 mm diameetriga palgi koore maht on 0,0121 m³ ning on tõusvas joones. 400 mm diameetri puhul on koore maht 0,0534 m³. Jääkidest koostati sagedusdiagramm, millel ei esinenud erinevust normaaljaotusest (lisa 3). Järgnevalt sooviti uurida seost koorega ja kooreta mahu vahel. Parimaks osutus lineaarne mudel (joonis 3.6).



Joonis 3.7. Koorega ja kooreta mahu omavaheline sõltuvus

Antud seose determinatsioonikordaja väärtus on 0,995, mis väljendab koorega ja kooreta mahu vahelist kindlat seost. Koorega mahu suurenedes $0,01 \text{ m}^3$ võrra suureneb kooreta maht $0,009 \text{ m}^3$ võrra. Jääkide jaotusest koostati sagedusdiagramm, millel ei esinenud erinevust normaaljaotusest (lisa 3).

Järgnevalt uuriti mõõtmistulemuste erinevust arvutatud palkide mahust autori ja sorteerliini lasermõõdja vahel (joonis 3.8).

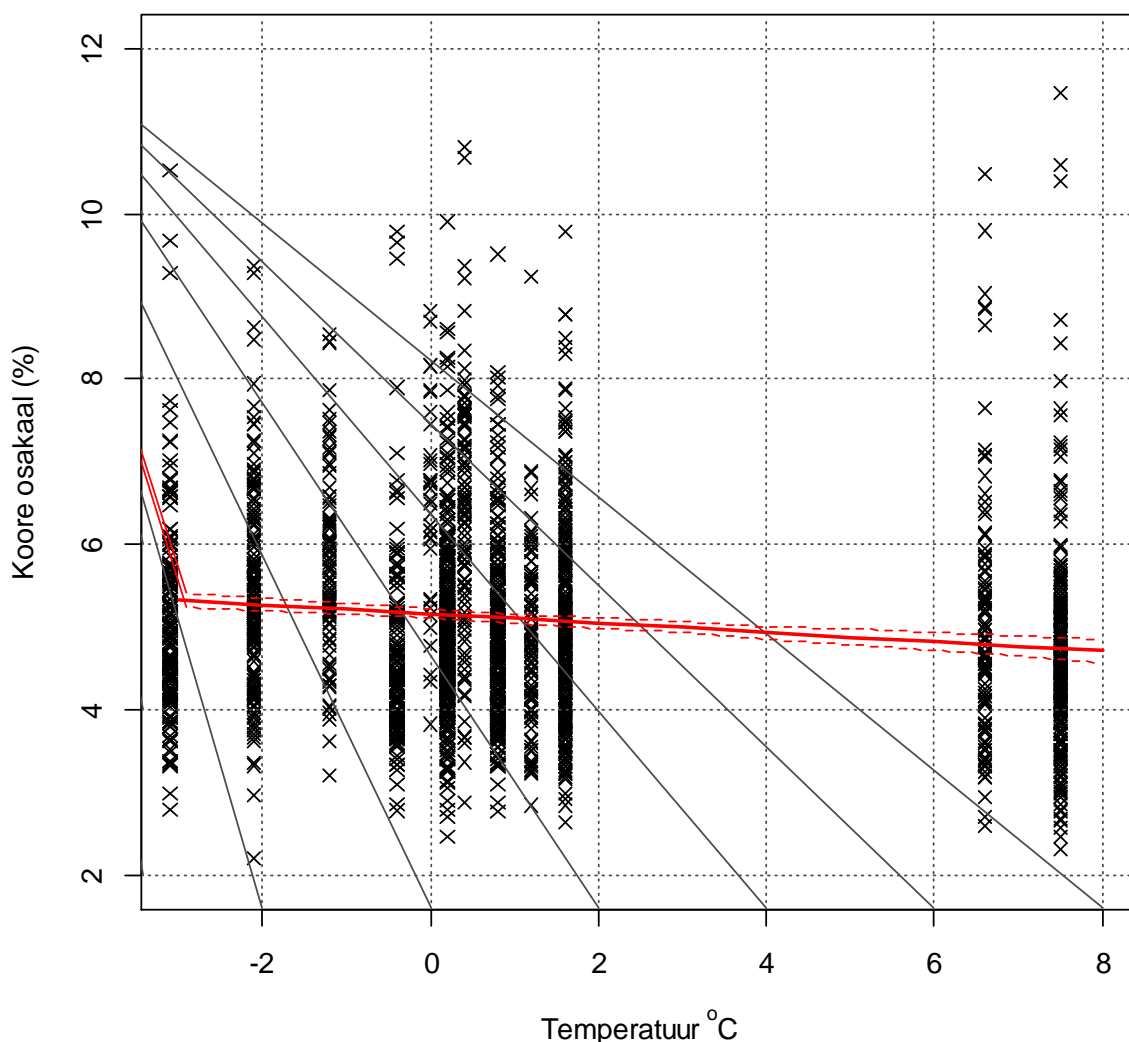


Joonis 3.8. Arvutatud mahu erinevuse protsent sõltuvalt diameetrist

Väikseim erinevus on diameetri 230 mm puhul, kus arvutatud palgi maht erines lasermõõdja andmetest vaid 0,14%.. Diameetriklassis 220 kuni 240 mm esines kõige enam mõõtmisi (joonis 2.3). Palkidel alla 229 mm oli mõõdetud maht suurem võrreldes lasermõõdja andmetega. Alates 230 mm oli autori poolt mõõdetud maht väiksem. Kogu andmestiku keskmine arvutuslik mõõtmisviga oli 0,49% standardhälbega 4,98 %. Mõõdetud mahtude erinevus võis tuleneda sellest, et autor mõõtis diameetrid palkide ladvapoolest otsast, aga laser mõõtis minimaalse diameetri kogu palgi ulatusest. Näiteks palgi peenema otsa diameeter võib erineda palgi minimaalsest diameetrist. Jääkide jaotusest koostati sagedusdiagramm, millel ei esinenud erinevust normaaljaotusest (lisa 4).

3.3. Koore osakaalu sõltuvus diameetrist ja temperatuurist

Mõõtmised viidi läbi nii külmal kui soojal perioodil, mille eesmärgiks oli uurida koore paksuse sõltuvust temperatuurist (joonis 3.9). Temperatuuri amplituut jäi juba eelnevalt uurimuses mainitud sooja talve tõttu küllalki väikseks. Riikliku Ilmateenistuse andmeil oli 2016 ja 2017 aasta talv keskmisest soojem ja kuivem, kus vahemikus detsember kuni veebruar oli keskmine õhutemperatuur $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jaanuarikuu keskmine õhutemperatuur oli $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, mis on $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ normist kõrgem. Perioodil august kuni detsember 2016 ei langenud keskmine õhutemperatuur alla $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Talv 2017/2016 ... 2017)

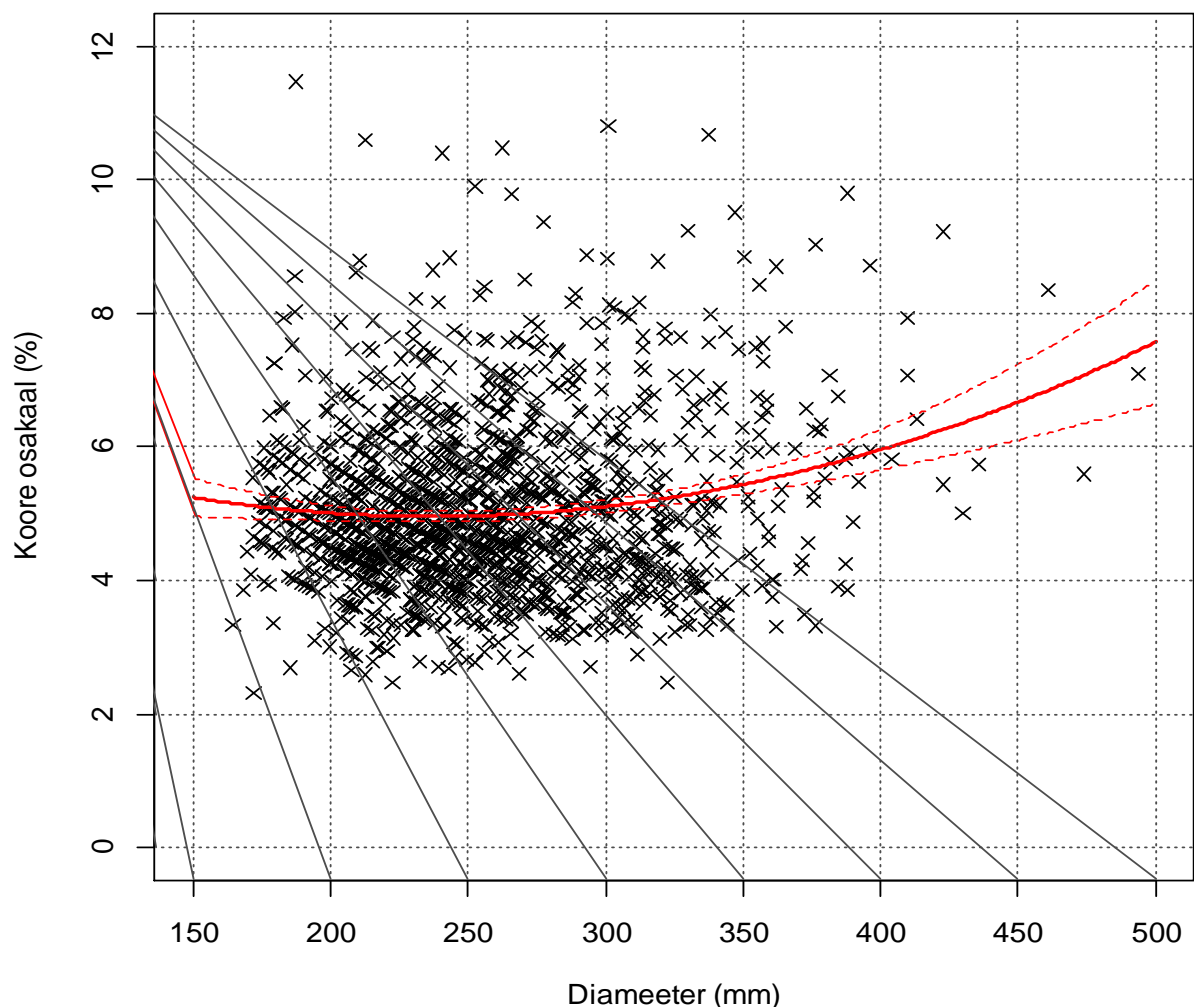


Joonis 3.9. Koore osakaalu sõltuvus temperatuurist koor 95% usalduspiiridega

Ilmnes asjaolu, et õhutemperatuuri langemisel hakkab koore osakaal diameetrist tõusma. Temperatuuri langedes ühe kraadi võrra suureneb koore osakaal $0,056\text{ }%$ võrra. Jääkide

jaotusest koostati sagedusdiagramm (lisa 5). Tüve diameeter muutus suvel põhiliselt elastse koore osas (kambiumis) sõltumata aastaajast (Zweifeli, Häsleri 2000). Zweifeli ja Häsleri (2000) uuringus leiti, et kui temperatuur langeb alla $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, toimub koore kokkutõmbumine sõltumata kellaajast. Koore paksus on sõltuvuses koore niiskussisaldusest (*ibid*).

Järgnevalt uuriti, kas esineb erinevust sooja ja külmal perioodil mõõdetud andmete vahel. Parimaks prognoosimudeli kujuks osutus ruutparabool (joonis 3.10).

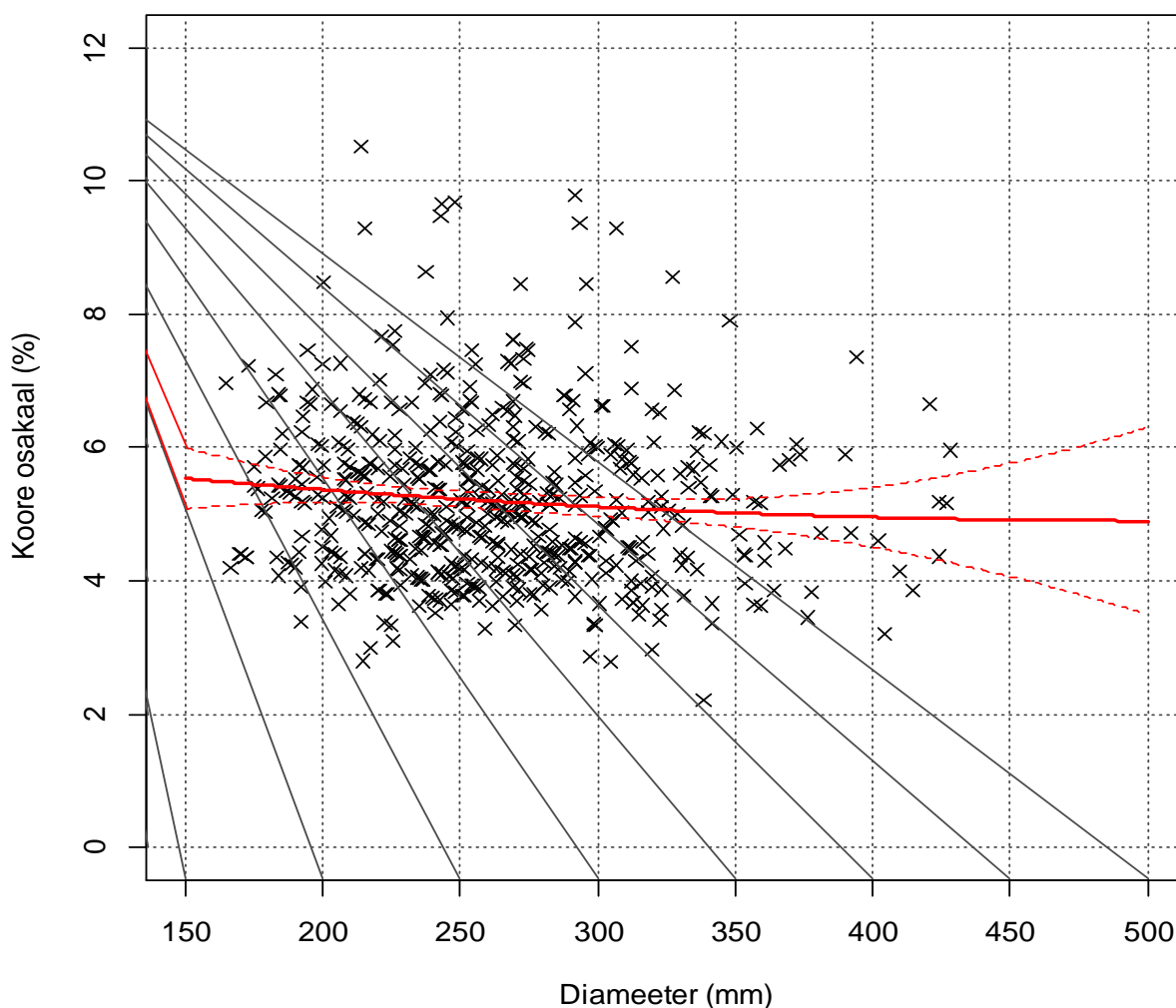


Joonis 3.10. Sooja perioodi koore osakaalu sõltuvus diameetrist koos 95% usalduspiiridega

Determinatsioonikordaja väärtus on 0,445. Koore osakaal langes vahemikus 150 kuni 230 mm. Diameetri suurenedes hakkab koore osakaal tõusma kuni diameetrini 500 mm, kus koore osakaal on 8,13%. Enim esinenud diameetriklasside 220 kuni 280 mm keskmine

koore osakaal diameetrist oli 5,12 % standardveaga 0,05%. Jääkide jaotusest koostati sagedusdiagramm, millel ei esinenud erinevust normaaljaotusest (lisa 6).

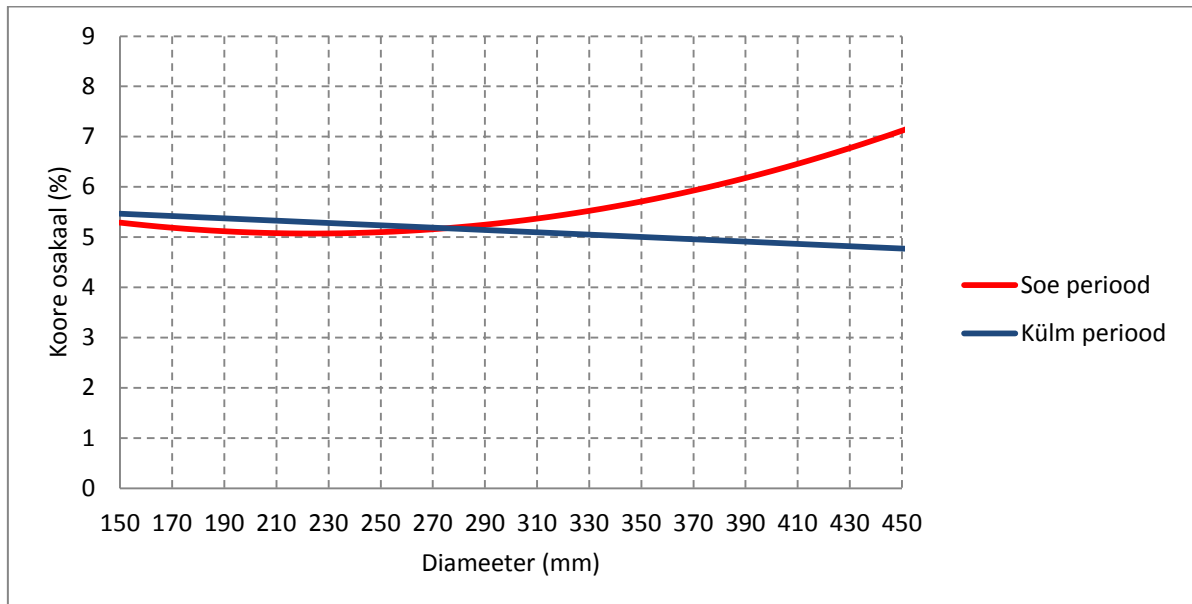
Edasi vaadeldi külma perioodi koore osakaalu jaotust diameetrist. Vastupidiselt soojale perioodile, oli koore osakaal diameetrist langevas joones. Diameetri suurenedes koore osakaal diameetrist vähenes. Parimaks mudeliks osutus paraboolne regressioon.



Joonis 3.11. Külma perioodi koore osakaalu sõltuvus diameetrist koos 95% usalduspiiridega

Diameetri suurenedes 1 mm võrra langes koore osakaal diameetrist 0,023 % võrra (joonis 3.11). Enim esinenud diameetriklasside 220 kuni 280 mm keskmine koore osakaal diameetrist oli 5,23 % standardveaga 0,05%, olles suurem soojast perioodist 0,11 % võrra. Jääkide jaotusest koostati sagedusdiagramm (lisa 7). Põhjus joonise 3.11 ja 3.10 erineva

tõusunurga vahel võib tuleneda asjaolust, et külma perioodi valim võis olla liiga väike (550 mõõtmist). Sooja ja külma perioodi regressioonjooned kanti joonisele 3.12.

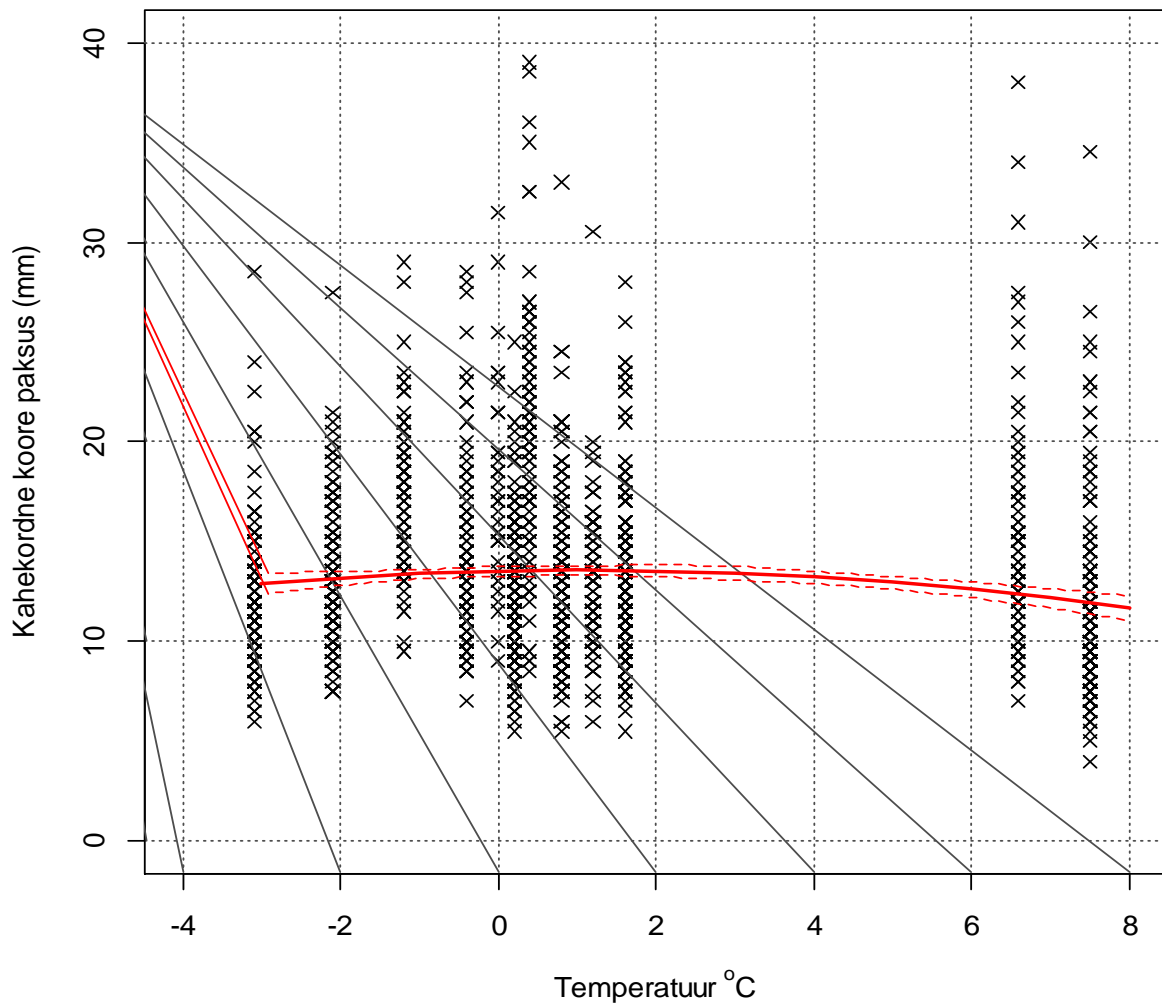


Joonis 3.12. Sooja ja külma perioodi regressioonjooned

Jooniselt 3.12 on näha küllaltki sarnast koore osakaalu protsenti diameetri vahemikus 150 mm kuni 270 mm. Osakaalu protsent erines kõige vähem diameetri 275 mm puhul, kus erinevus oli vaid 0,001 %. Diameetri suurenedes alates 275 mm-st hakkas koore osakaalu erinevus suurenema.

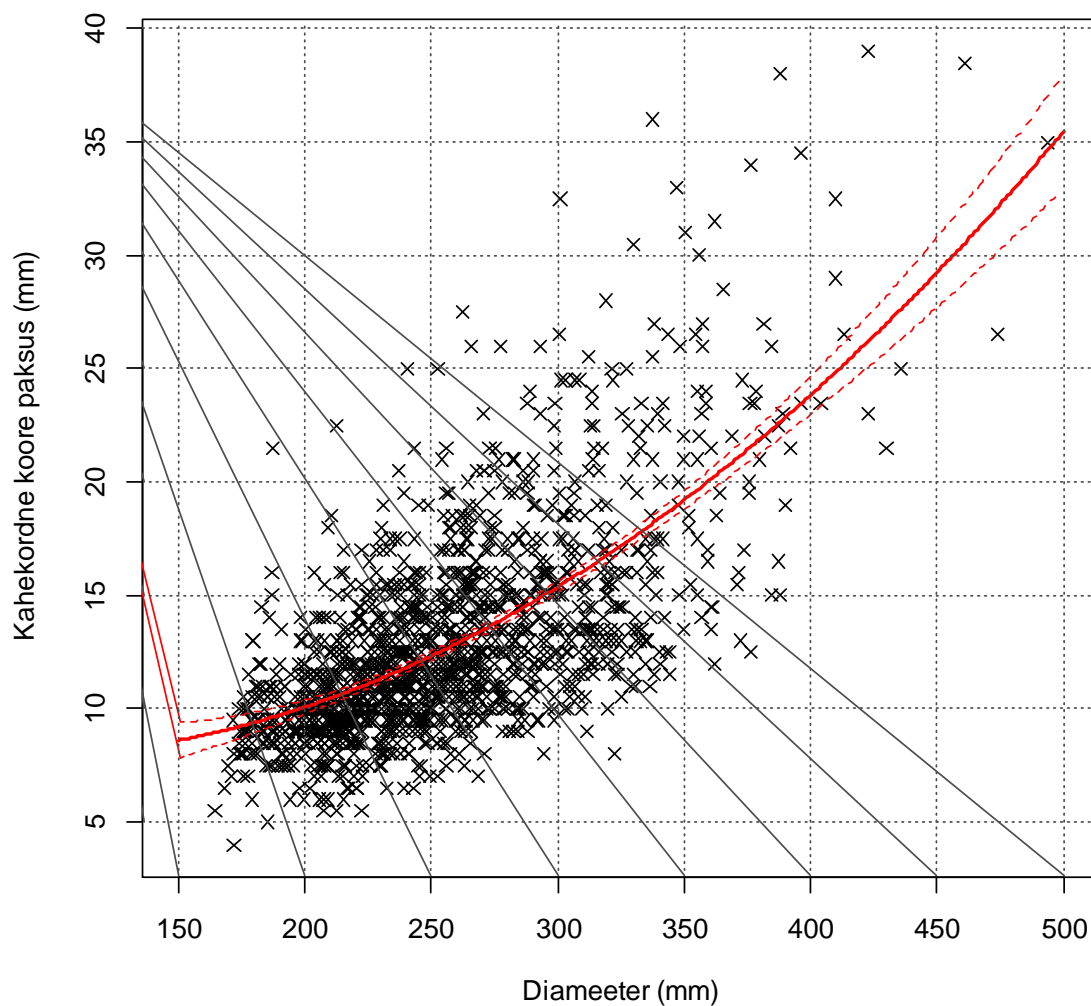
3.4. Kahekordse koore paksuse sõltuvus diameetrist ja temperatuurist

Kahekordse koore paksuse sõltuvus temperatuurist on kajastatud joonisel 3.13. Parimaks prognoosimudeliks sobis ruutparabool, mille statistilised parameetrid on kajastatud tabelis 3.1.



Joonis 3.13. Kahekordse koore paksuse sõltuvus temperatuurist koos 95% usalduspiiridega

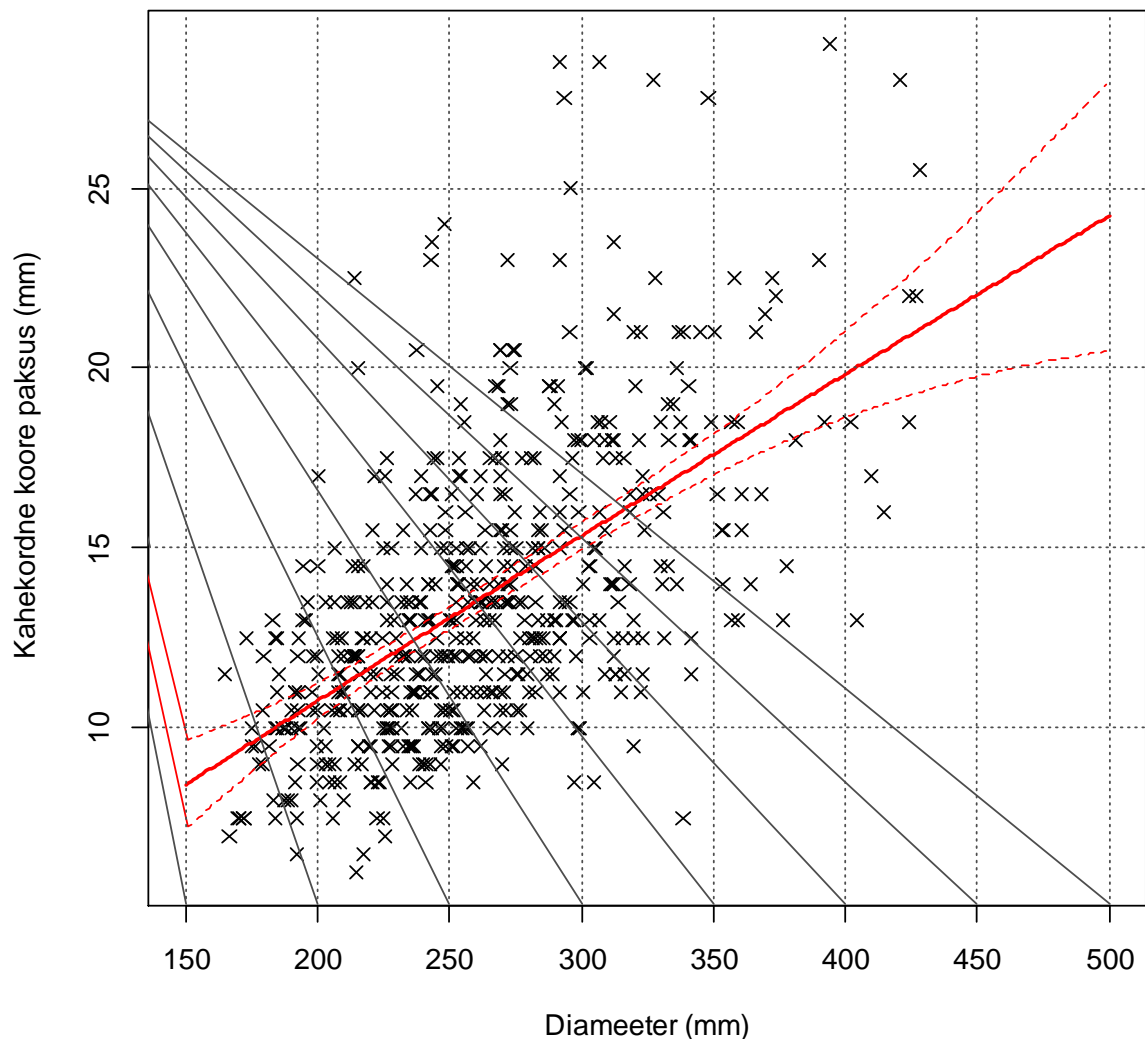
Kahekordse koore paksus hakkas vähenema alates temperatuurist 1,2 °C, kus kahekordne koore paksus on 13,55 mm. Temperatuuri vahemikus -4 °C kuni 1,2 °C oli koore osakaal tõusvas joones. Edasi vaadeldi eraldi soojal ja külmal perioodil mõõdetud andmeid. Esiteks vaadeldi sooja perioodi mõõtmisi (joonis 3.14). Jääkide jaotusest koostati sagedusdiagramm, millel ei esinenud erinevust normaaljaotusest (lisa 8).



Joonis 3.14. Sooja perioodi kahekordse koore paksuse sõltuvus diameetrist koos 95% usalduspiiridega

Determinatsioonikordaja väärtus on 0,445. Diameetri vahemikus 220 kuni 280 mm on keskmine kahekordne koore paksus 15,03 mm standardhälbega 1,60 mm. Kahekordse koore paksus tõuseb vastavalt diameetri suurenedes. Jääkide jaotusest koostati sagedusdiagramm, millel ei esinenud erinevust normaaljaotusest (lisa 9).

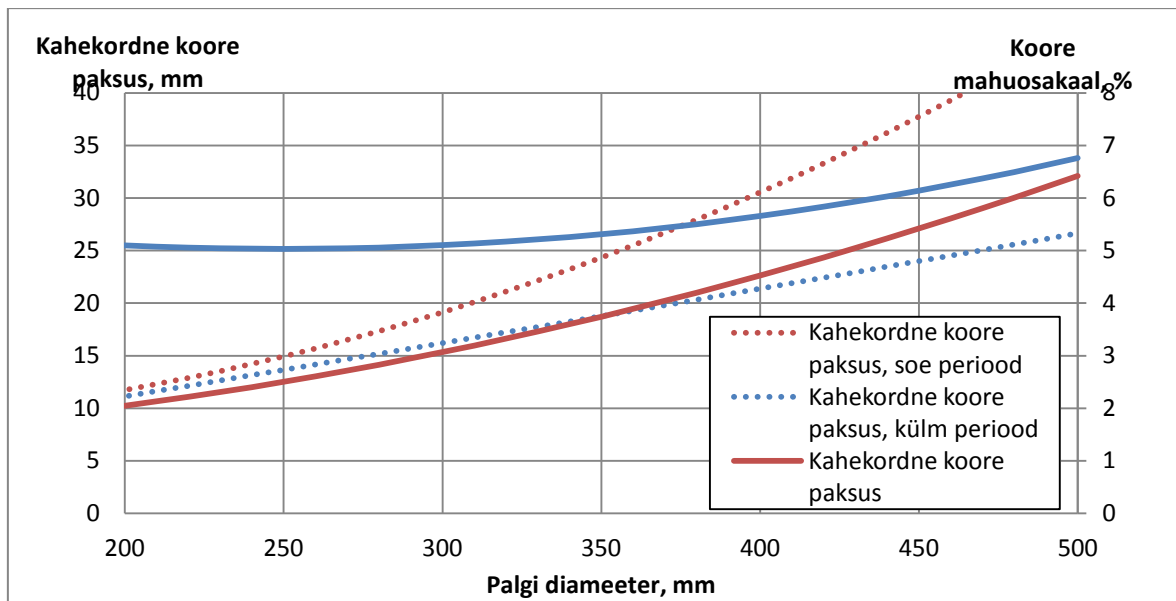
Järgnevalt vaadeldi kahekordse koore paksuse sõltuvust diameetrist külmal perioodil (joonis 3.15). Parimaks mudeli kujuks osutus ruutparabool.



Joonis 3.15. Külma perioodi kahekordse koore paksuse sõltuvus diameetrist koos 95% usalduspiiridega

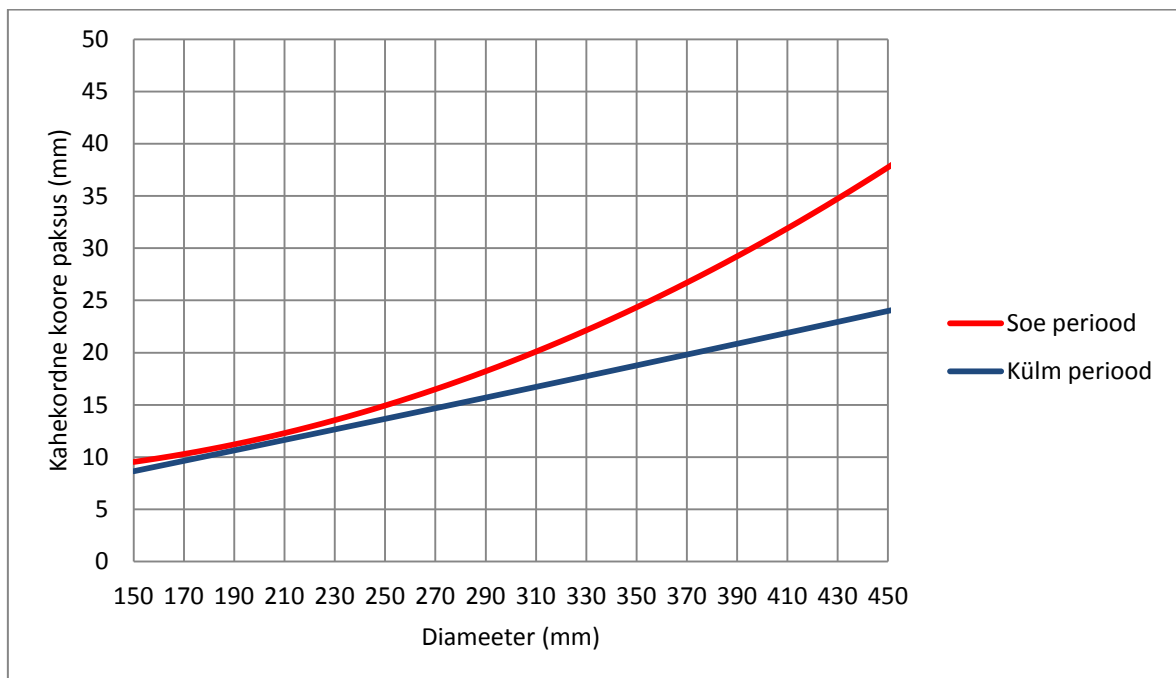
Determinatsioonikordaja väärtuseks on 0,336. Diameetri vahemikus 220 kuni 280 mm on keskmine kahekordne koore paksus 13,66 mm standardhällbega 1,09 mm. Kahekordse koore paksus tõuseb vastavalt diameetri suurenedes. Jääkide jaotusest koostati sagedusdiagramm, millel ei esinenud erinevust normaaljaotusest (lisa 10).

Võrreldes erinevatel perioodidel mõõdetud andmeid ilmnes, et külmal perioodil mõõdetud kahekordse koore paksus oli sooja perioodiga võrreldes väiksem. Väiksemate diameetrite puhul oli erinevus väiksem kuid kasvas diameetri suurenedes. Näiteks soojal perioodil mõõdetud 150 mm diameetri puhul oli mõõdetud koore paksus 9,54 mm. Sama diameetri külma perioodi koore paksus oli 0,91 mm väiksem ehk 8,63 mm. Erinevus vähenes kuni diameetrini 222 mm, kus erinevus oli 0,78 mm. Alates diameetrist 232 mm suurenes mõõtmiste erinevus (joonis 3.17).



Joonis 3.16. Koondjoonis kahekordse koore paksuse ja koore mahuosakaalu sõltuvusest diameetrist erinevatel perioodidel kui ka üldandmestikku iseloomustav joon

Joonisel 3.16 on näha sooja ja külma perioodi mõõdetud kahekordse koore paksuse erinevust. Vaadeldes üldandmestiku joont on näha erinevust võrreldes külma ja sooja perioodiga. Soojal perioodil mõõdetud kahekordse koore paksus osutus suuremaks külmal perioodi mõõdetust.

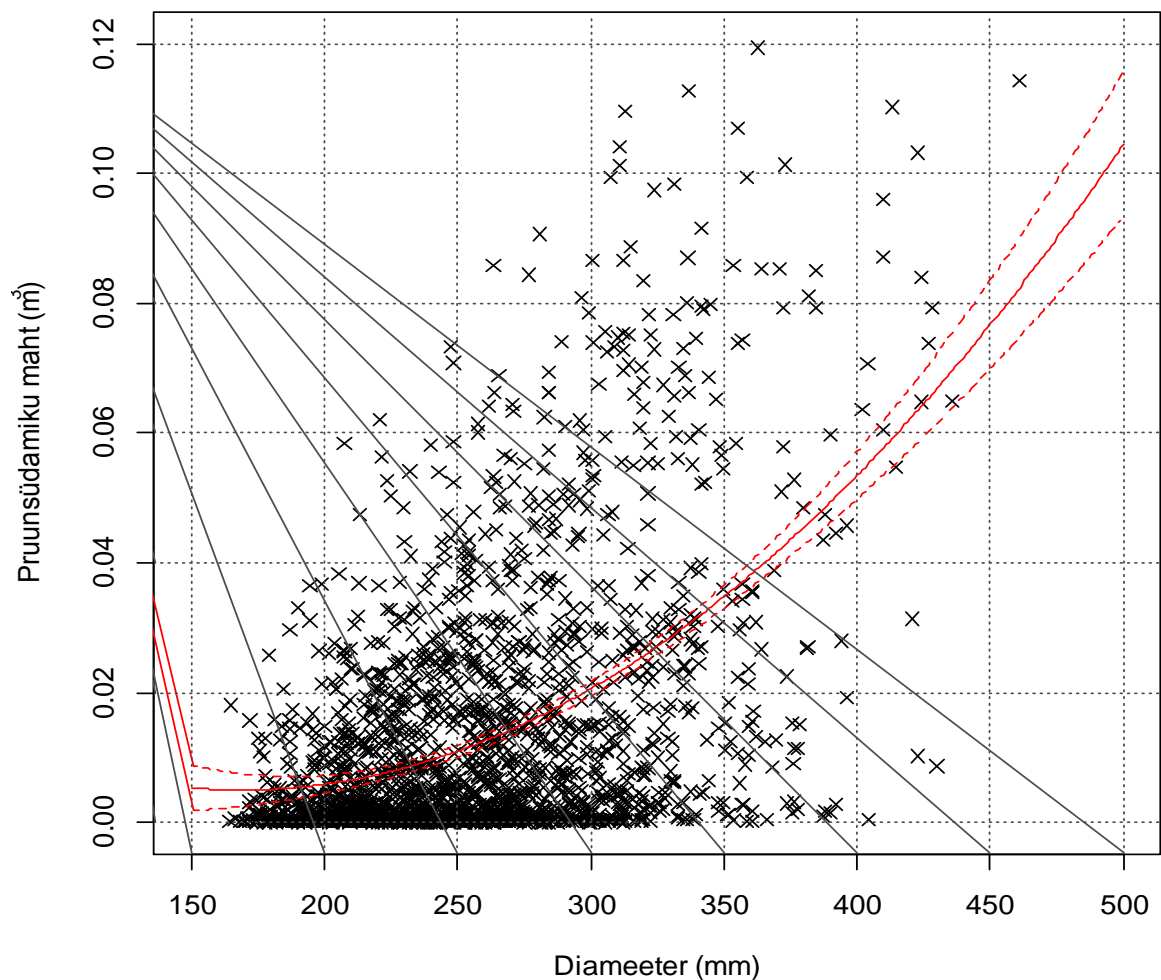


Joonis 3.17. Sooja ja külma perioodi kahekordse koore paksuse regressioonjooned

Sarnane seos on ilmnunud Taavi Taremaa (2011: 25) uuringus, kus uuriti harikiku kuuse (*Picea abies* (L.) Karst.) ja hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) kooreparandit. Taremaa (2011: 25) uuringus vähenes kahekordse koore paksus temperatuuri tõustes. 100mm diameetriga kuuse kahekordse koore paksus oli talvisel perioodil 0,87 mm paksem võrreldes suvise mõõtmisega. 180 mm diameetri puhul oli 0,53 mm paksem (*ibid*: 25).

3.5. Kase punasüdamiku analüüs

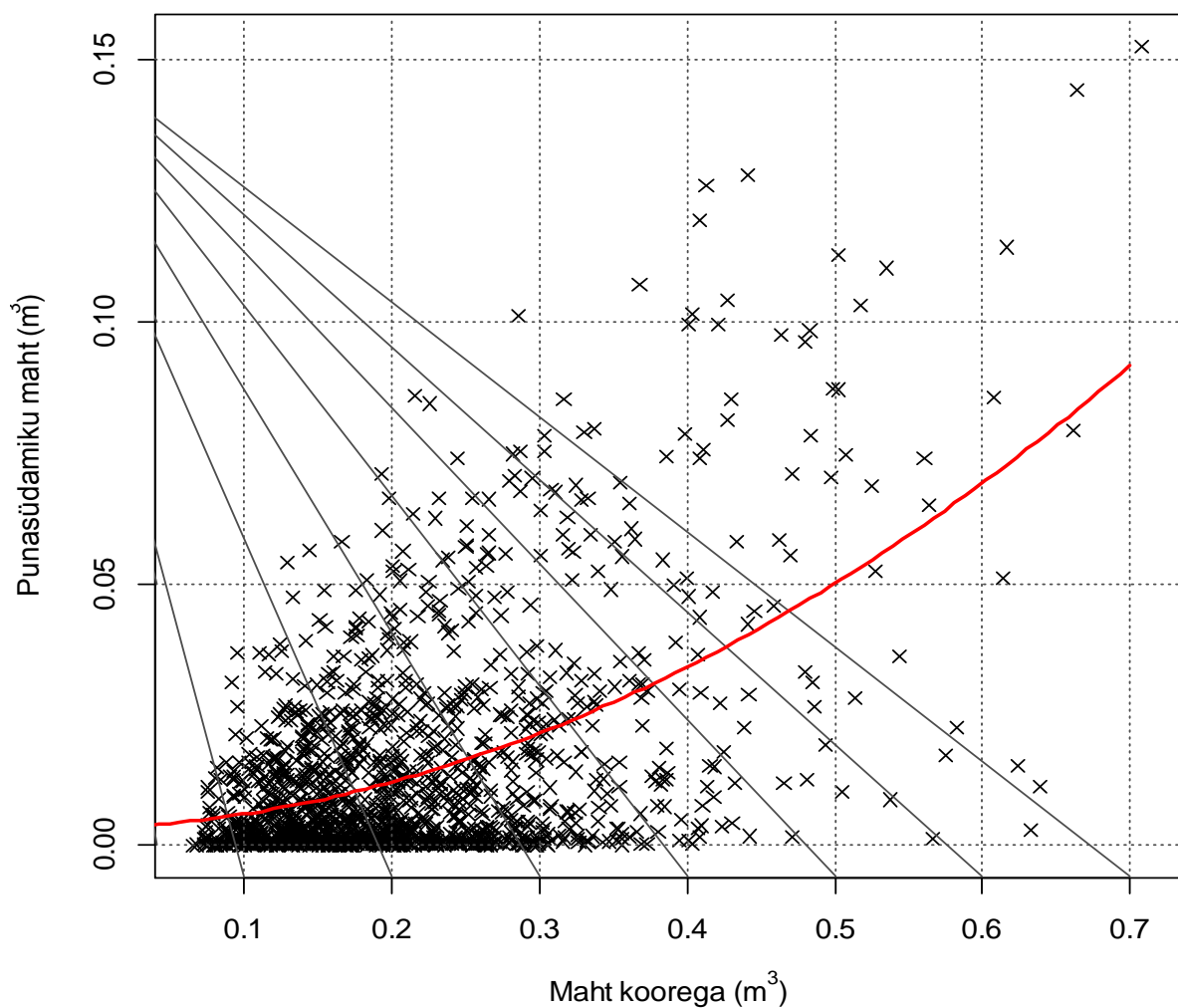
Uurimuses mõõdeti ettevõtte soovil lisaks koore mahule ka punasüdamiku maht. Punasüdamiku mahu sõltuvus diameetrist on kajastatud joonisel 3.18. Jooniselt on näha diameetri suurenedes punasüdamiku mahu suurenemist. Parimaks mudeliks osutus ruutparabool (valem 1).



Joonis 3.18. Punasüdamiku mahu sõltuvus diameetrist koos 95% usalduspiiridega

Valemi parameetrid on esitatud tabelis 3.1. Diameetril 150 mm on keskmine punasüdamiku maht 0,006 m³ ning see tõuseb diameetri kasvades. 300 mm diameetriga palgil on keskmine punasüdamik 0,022 m³. Jääkide jaotusest koostati sagedusdiagramm, millel ei esinenud erinevust normaaljaotusest (lisa 11).

Enim mõjutab punasüdamiku osakaalu diameeter ning juurdekasv. Suurema diameetri ja väiksema juurdekasvuga puudel esines rohkem punasüdamikku ehk väärlülipuitu. Puu vanusel on kaudne mõju läbi diameetri. Seega mida parema juurdekasvuga puu on, seda ebatõenäolisemalt esineb puidus väärlülipuitu. (Dourin *et al.* 2009 ref Hānin 2010)



Joonis 3.19. Punasüdamiku mahu sõltuvus koorega mahust

Determinatsioonikordaja väärtus on 0,234 (joonis 3.19). Punasüdamiku maht suureneb diameetri suurenedes. Punasüdamiku maht suureneb vastavalt regressioonjoonele. Palgi koorega mahu 0,1 kuni 0,2 m³ puhul on keskmine punasüdamiku maht 0,008 m³. Koorega

mahu 0,3 kuni 0,4 m³ puhul, aga 0,027 m³. Jääkide jaotusest koostati sagedusdiagramm, millel ei esinenud erinevust normaaljaotusest (lisa 12).

3.6. Kooreparandite väärtused

Tehtud analüüside põhjal leiti kahekordse koore paksuse keskmised väärtused, mis arvutati iga 10 mm tagant. Koore paksus arvutati valemiga 1, mille parameetrid on kajastatud tabelis 3.1. Tulemused kanti tabelisse 3.3.

Tabel 3.3. Kahekordse koore paksuse keskmised väärtused

Keskmine koorega diameeter, mm	Keskmine kahekordne koore paksus, mm	Keskmine koorega diameeter, mm	Keskmine kahekordne koore paksus, mm
150	8,50	310	15,95
160	8,80	320	16,60
170	9,13	330	17,27
180	9,47	340	17,97
190	9,84	350	18,68
200	10,23	360	19,42
210	10,64	370	20,18
220	11,07	380	20,96
230	11,53	390	21,77
240	12,00	400	22,59
250	12,50	410	23,44
260	13,02	420	24,31
270	13,56	430	25,20
280	14,13	440	26,11
290	14,71	450	27,05
300	15,32	460	28,00

Tabelit 3.3 saab kasutada kasepalkide mahu arvestamisel, võttes arvesse kahekordse koore paksuse väärtust ning need parandused sisse viia kooreta mahu arvestamisel temperatuuridel -3,5 °C kuni 7,5 °C. Antud arvutuslikud kahekordse koore paksuse väärtused on usaldusväärsed õhutemperatuuri vahemikus -3,5 °C kuni 7,5 °C. Arvutati koondtabel sammuga 1 mm (lisa 13).

Näiteks on Venemaal kehtivad koore parandusarvud kase koore kohta keskmiselt 0,869. Koore parandusarvu väärtus on sõltuvalt piirkonnast 0,847 ja 0,897 vahel. (Fonseca 2005)

Lätis läbi viidud uuring kajastas koore protsendi sõltuvust puu kõrgusest. Kase ja kuuse puhul on madalaim koore protsent tüve alumises kolmandikus (20-30% tüve kõrgusel). Koore protsent kahaneb tüvest kuni tüve keskosani, pärast mida hakkab see kasvama. Kõige suurem koore protsent on puu võrastikus. (Liepinš, J., Liepinš, K 2015)

Tabel 3.4. Sooja perioodi kahekordse koore paksuse keskmised väärtused

Keskmine koorega diameeter, mm	Keskmine kahekordne koore paksus, mm	Keskmine koorega diameeter, mm	Keskmine kahekordne koore paksus, mm
150	9,54	310	20,10
160	9,90	320	21,10
170	10,30	330	22,14
180	10,74	340	23,22
190	11,22	350	24,34
200	11,74	360	25,50
210	12,30	370	26,70
220	12,90	380	27,94
230	13,54	390	29,22
240	14,22	400	30,54
250	14,94	410	31,90
260	15,70	420	33,30
270	16,50	430	34,74
280	17,34	440	36,22
290	18,22	450	37,74
300	19,14	460	39,30

Tabelit 3.3 saab kasutada kasepalkide mahu arvestamisel, võttes arvesse kahekordse koore paksuse väärtust ning need parandused sisse viia kooreta mahu arvestamisel temperatuuridel 0 °C kuni 7,5 °C. Antud arvutuslikud koore paksuse väärtused on usaldusväärsed õhutemperatuuride vahemikus 0 °C kuni 7,5 °C, 0 °C kaasaarvatud (Saaremäe 2017). Temperatuuridel, mis on suuremad kui 7,5 °C, on kahekordse koore paksuse väärtused sõltuvalt diameetrist kontrollimata.

Tabel 3.5. Külma perioodi kahekordse koore paksuse keskmised väärtused

Keskmine koorega diameeter, mm	Keskmine kahekordne koore paksus, mm	Keskmine koorega diameeter, mm	Keskmine kahekordne koore paksus, mm
150	8,41	310	15,76
160	8,88	320	16,21
170	9,35	330	16,66
180	9,81	340	17,11
190	10,27	350	17,55
200	10,74	360	18,00
210	11,20	370	18,45
220	11,66	380	18,89
230	12,12	390	19,33
240	12,58	400	19,78
250	13,03	410	20,22
260	13,49	420	20,66
270	13,95	430	21,10
280	14,40	440	21,54
290	14,85	450	21,97
300	15,31	460	22,41

Tabelit 3.3 saab kasutada kasepalkide mahu arvestamisel, võttes arvesse kahekordse koore paksuse väärtust ning need parandused sisse viia kooreta mahu arvestamisel temperatuuridel -3,5 °C kuni 0 °C. Antud arvutuslikud koore paksuse väärtused on usaldusväärsed õhutemperatuuride vahemikus -3,5 °C kuni 0 °C (Saaremäe 2017). Temperatuuridel, mis on väiksemad kui -3,5 °C, on kahekordse koore paksuse väärtused sõltuvalt diameetrist kontrollimata.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli analüüsida kase koore paksuse sõltuvust diameetrist ning õhutemperatuurist ja nende analüüsi põhjal esitada kase koore parand arvud Tarmeko Spoon AS-le. Uurimuse tulemusel ilmnis erinevus soojal ja külmal perioodil mõõdetud koore paksuste vahel, mis kinnitas õhutemperatuuri mõju koore paksusele.

Arvutuste koostamisel kasutati nelja regressioonvalemit, millest parimaks osutusid lineaarse regressiooni kaks erinevat kuju, sirge ning ruutparabool. Ruutparabooliga saab kirjeldada kahekordse koore paksuse sõltuvust diameetrist külmal ja soojal perioodil. Samuti on ruutparabooliga kirjeldatav koore osakaalu ja mahu sõltuvus diameetrist, punasüdamikku mahu sõltuvus diameetrist ning palgi mahust. Lisaks kirjeldab ruutparabool kahekordse koore paksust õhutemperatuurist.

Sirgega on kirjeldatav koorega- ja kooreta diameetri ning koorega- ja kooreta mahu omavaheline seos. Samuti kirjeldab sirge koore osakaalu sõltuvust temperatuurist.

Kahekordne koore paksus varieerus 8,50 mm ja 32,04 mm sõltuvalt diameetrist. Koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra suurenes kooreta palgi diameeter 0,94 mm võrra. Diameetri suurenedes 1 mm võrra suureneb koore maht $0,001 \text{ m}^3$ võrra. Keskmine koore osakaal palgi mahust oli 9,98%.

Mõõdetud 2000 palgi keskmine arvutuslik keskmine erinevus käsitsi- ja masinmõõtmise vahel oli 0,49 %. Enim esinenud diameetriklasside 220 kuni 280 mm keskmine koore osakaal palgi mahust oli 9,79 % ja keskmine kahekordne koore paksus 12,56 mm standardhälbega 1,1 mm.

Töö eesmärgina leitud kooreparandeid on võimalik kasutada erinevates kase ümarmaterjalidega tegelevates ettevõtetes, kes kasutavad oma tootmises kase vineeri- või spoonipakku diameetritega 150 – 500 mm.

Töös käsitletavat kase koore paksuse sõltuvust temperatuurist tuleks põhjalikumalt analüüsida ning uurida kahekordse koore paksust temperatuuridel, mis on madalamad kui

-3,5 °C ja kõrgemad kui 7,5 °C. Selle tulemusel saaks ühtlasema temperatuuri jaotuse ja usaldusväärsemad andmed kooreparandite arvutamiseks. Samuti tuleks põhjalikumalt uurida eraldi kase kärnikkoorega tüvepalke, kus koor oma paksuse ja muude omaduste tõttu erineb suuresti teiste palkide koorest.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Crawley, M.J.** 2007. The R Book. John Wiley & Sons LTD. 942 lk.
2. **Dourin, M., Beauregard, R., Duchesne, I.** 2009 Sources of variability of red heartwood in paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) wood and its impact on grade recover and lumber value. Canada, viidatud: Hännin, M. 2010. Kase punasüdamik. (Bakalaureusetöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.
3. **Fonseca, M.A.** 2005. The measurements of roundwood: methodologies and conversion ratios. Wallingford, UK: CABI Publishing, 273 lk.
4. **Jänes, J.** 2001. Ümarpuidu mõõtmise ja hindamise. Tartu. 28 lk.
5. **Kiviste, A.** 2007. Matemaatiline statistika MS Exceli keskkonnas. Tartu. 86 lk.
6. **Krigul, T.** 1971. Metsataksaatori teatmik. Eesti Põllumajanduse Akadeemia. Tartu.
7. **Liepinš, J., Liepinš, K.** (2015). Evaluation of bark volume of four tree species in Latvia. - *Annual 21st International Scientific Conference: "Research for Rural Development" Volume 2, Jelgava, Latvia, 13-15 May 2015.*
8. **McCown, B. H.** 1986. Birch (*Betula* spp). – *Biotechnology in Agriculture and Forestry 1: Trees* II. lk 324-341.
9. **Saaremäe, I.** (Keskkonnaagentuuri Üldosakonna Klienditeeninduse peaspetsialist). Autori intervjuu. Digitaalne dokument. Tartu, 22. märts 2017.
10. **Saarman, E., Veibri, U.** 2006. Puiduteadus. Tartu: Eesti metsaselts. 521 lk.
11. **Sims, A., Kiviste, A.** (2014). Statistiline analüüs R keskkonnas metsanduslike näidetega. Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 64 lk.
12. **Zweifel, R., Häslér, R.** 2000. Frost-induced reversible shrinkage of bark of mature subalpine conifers. *Agricultural and Forest Meteorology* 102, 213–222.
13. Talv 2016/2017 oli normist soojem ja kuivem. Päikest oli näha normist pisut enam. (2017). (<http://www.ilmateenistus.ee/wp-content/uploads/2017/03/talv20162017.jpg>) (19.05.2017)
14. **Taremaa, T.** 2011. Kooreparandi koostamine okaspuu palkidele. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.

15. Tarmeko Grupp. (2017). (<http://www.tarmeko.ee>) (10.05.2017)
16. Tarmeko Spoon AS - firmast. (2017). (<http://www.tarmeko.ee/spoon/>) (10.05.2017)

BIRCH (BETULA SPP.) BARK THICKNESS REPAIR ANALYSIS BASED ON TARMEKO SPOON LTD

Summary

The aim of the present Master Thesis is to analyse birch (*Betula* spp.) bark thickness relation to overall log volume and air temperature and based on the study present birch bark correction values to Tarmeko Spoon LTD. Measurements took place between October 2016 and February 2017, in which 2000 logs were measured. Measurements were divided into two groups: warm and cold period. During the study occurred a difference in bark thickness measured different periods, which confirmed the relation between bark thickness and air temperature.

Four regression formulas were used, where linear regression models straight and second grade polynom fitted the best. Second grade polynom is used to calculate dual bark thickness in cold and warm period using the log diameter. It is also used to calculate bark percentage and volume dependent on the diameter and overall log volume and birch heartwood percentage of the overall log volume.

Single linear regression formula is used to calculate log diameter without the bark using the measured log diameter with the bark. It is also used to calculate overall log volume without the bark using the overall log volume with the bark.

Dual bark thickness varied between 8,50 and 32,04 mm dependent on the diameter of the log. When log diameter with bark increased by 1 mm, the diameter without the bark increased by 0,94 mm and the volume of the bark increased by 0,001 m³. Mean bark percentage of the total log volume was 9,98%.

Measured 2000 logs had a mean calculation error between machine- and manual measurements of 0,49%. Between the most occurred diameter classes 220 to 280 mm the mean bark percentage of the total log volume was 9,79% and mean double bark thickness of 12,56 mm with a standard deviation of a 1,1 mm.

The constructions to the dual bark thickness analysed in the research can be used in various sawmills that use birch plywood logs with the diameter between 150 and 500 mm.

Dependence of the dual bark thickness of the birch logs should be further analysed at the temperatures lower than $-3,5^{\circ}\text{C}$ and higher than $7,5^{\circ}\text{C}$. Further analyse should ensure smoother and more reliable data for calculating the bark repairs on the logs. Further research is also needed for analyzing trunk logs with thick bark, where the bark differs with its thickness and other properties from the usual logs.

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, **Sander Lilienthal**, (sünnipäev 04.05.1992 isikukoodiga **39205046018**)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Kase (*Betula spp.*) kooreparandi uurimine Tarmeko Spoon AS näitel,

mille juhendaja on teadur Allar Padari, *MSc*,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

- 2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
- 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 22.05.2017

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

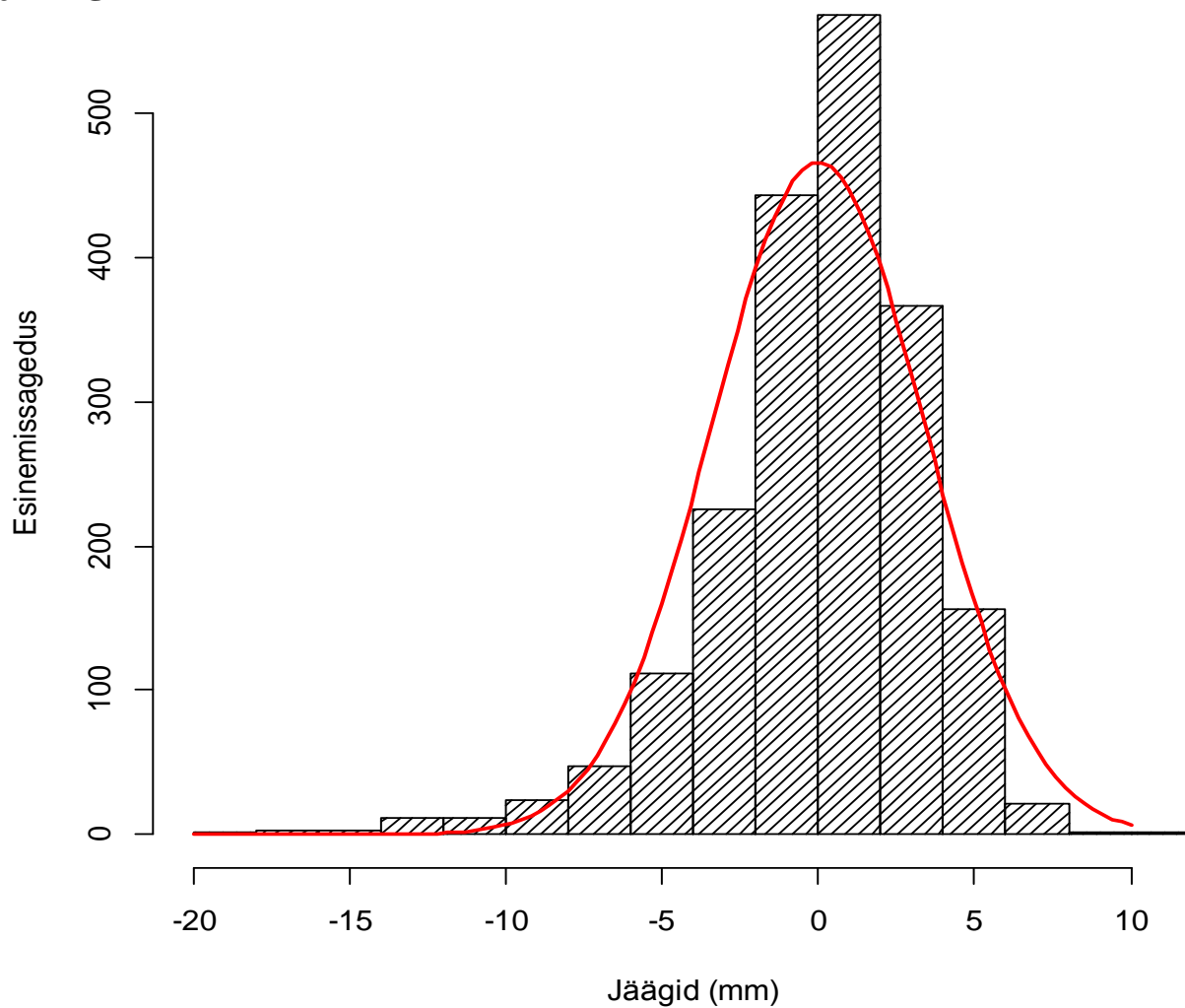
(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

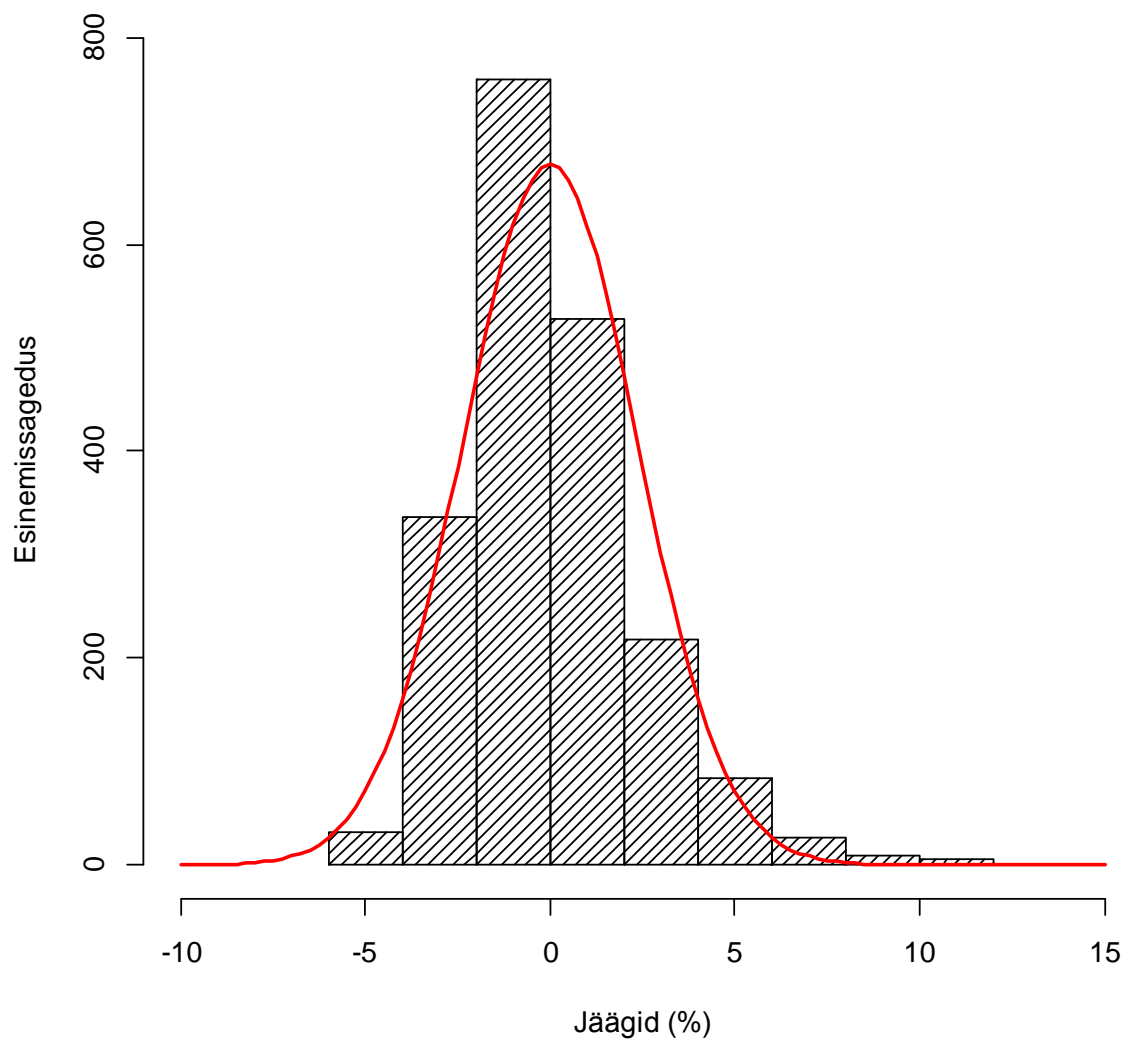
(kuupäev)

LISAD

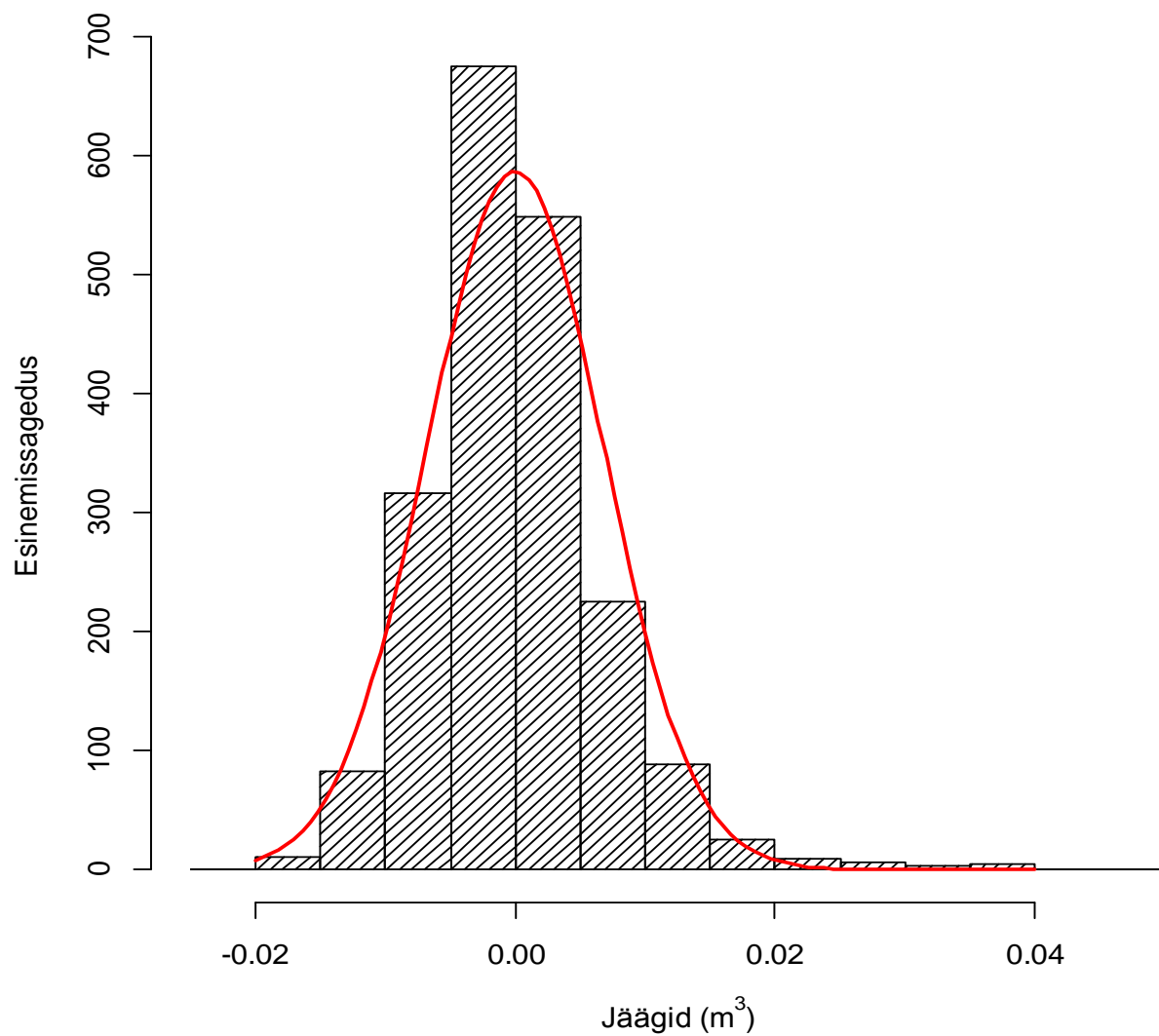
Lisa 1. Koorega diameetri jääkide sagedusdiagramm normaaljätuse joonega



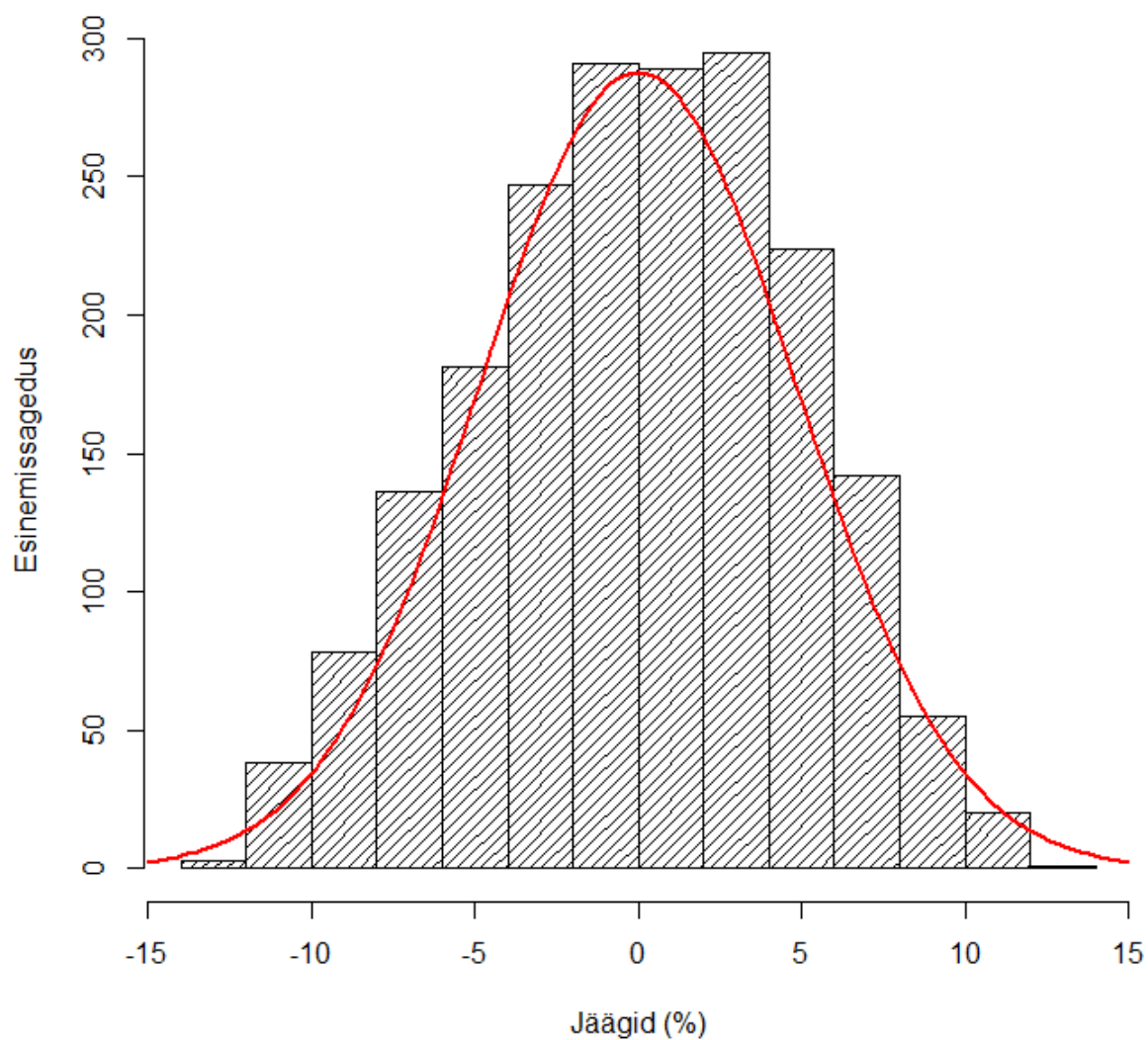
Lisa 2. Koore mahu osakaalu jääkide sagedusdiagramm normaaljaotuse joonega



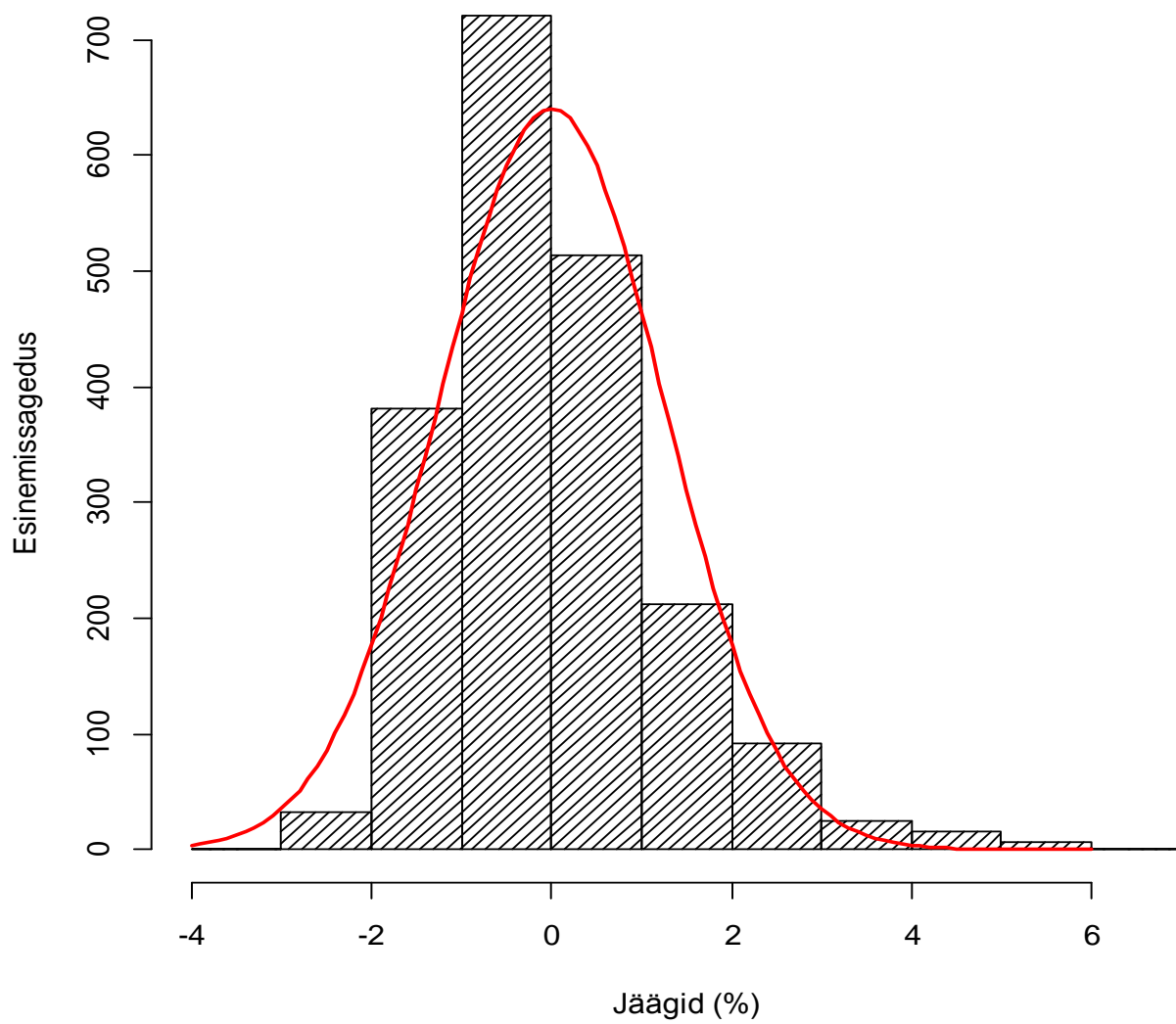
Lisa 3. Koore mahu jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega



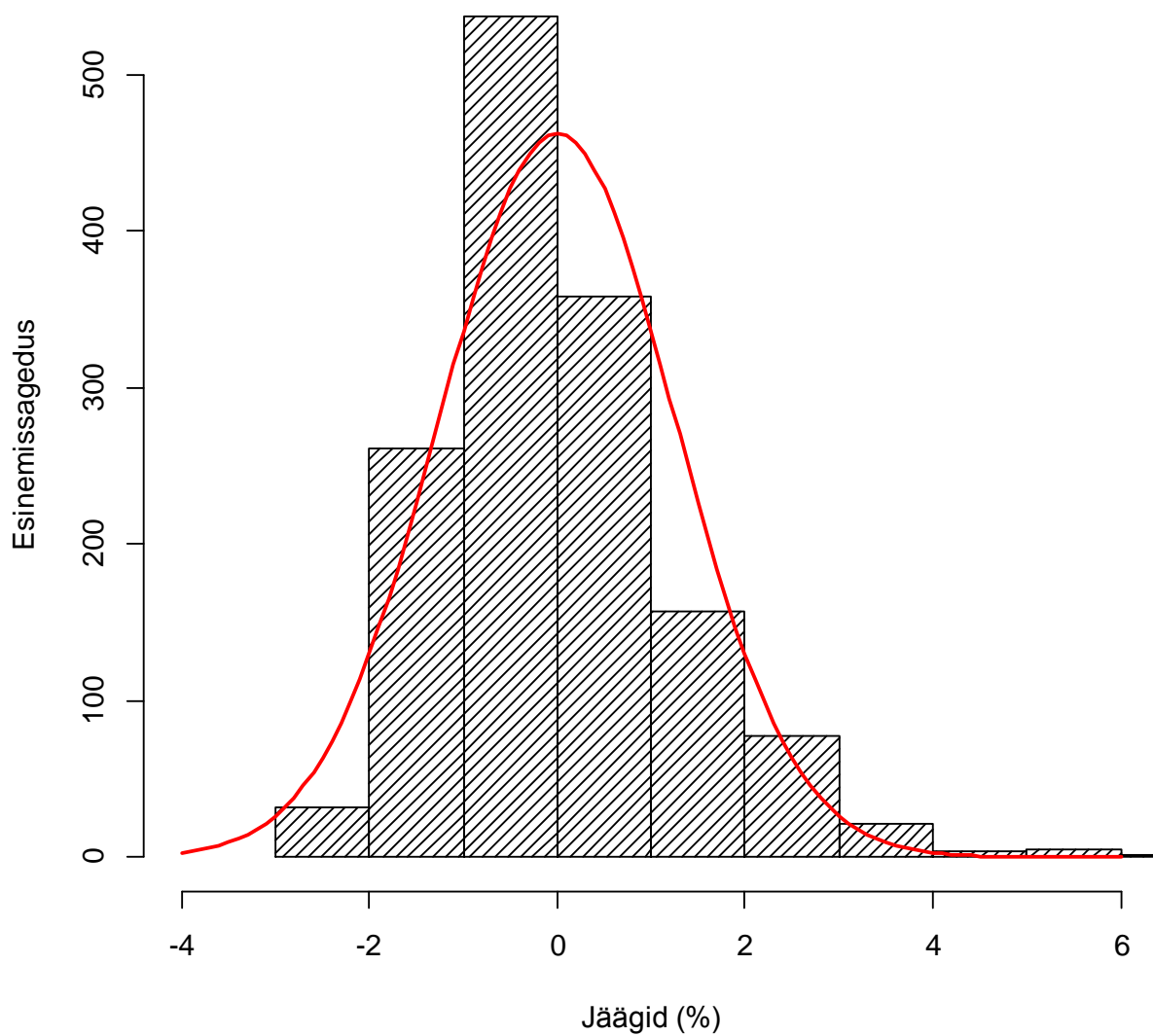
Lisa 4. Koore mahu erinevuste jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega



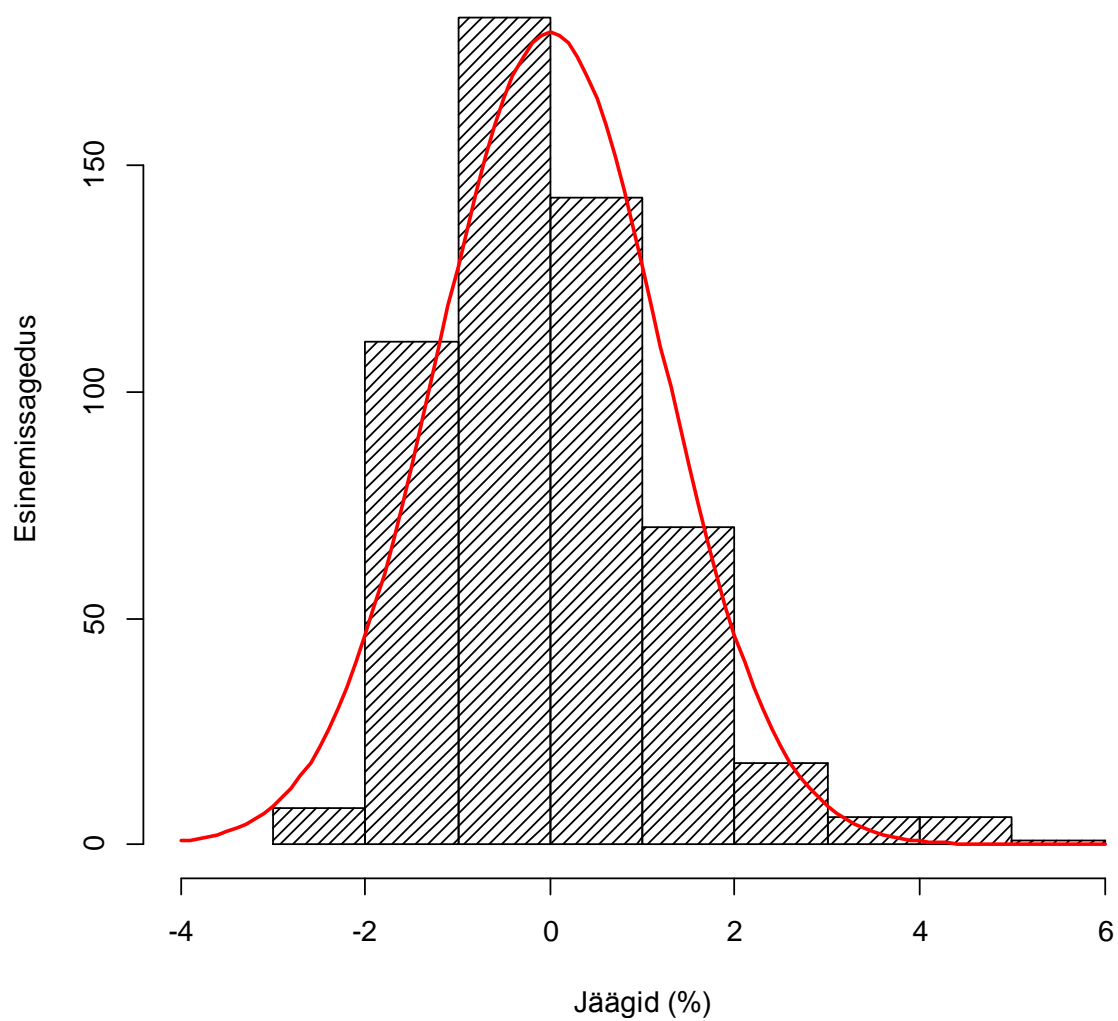
Lisa 5. Koore osakaalu sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega



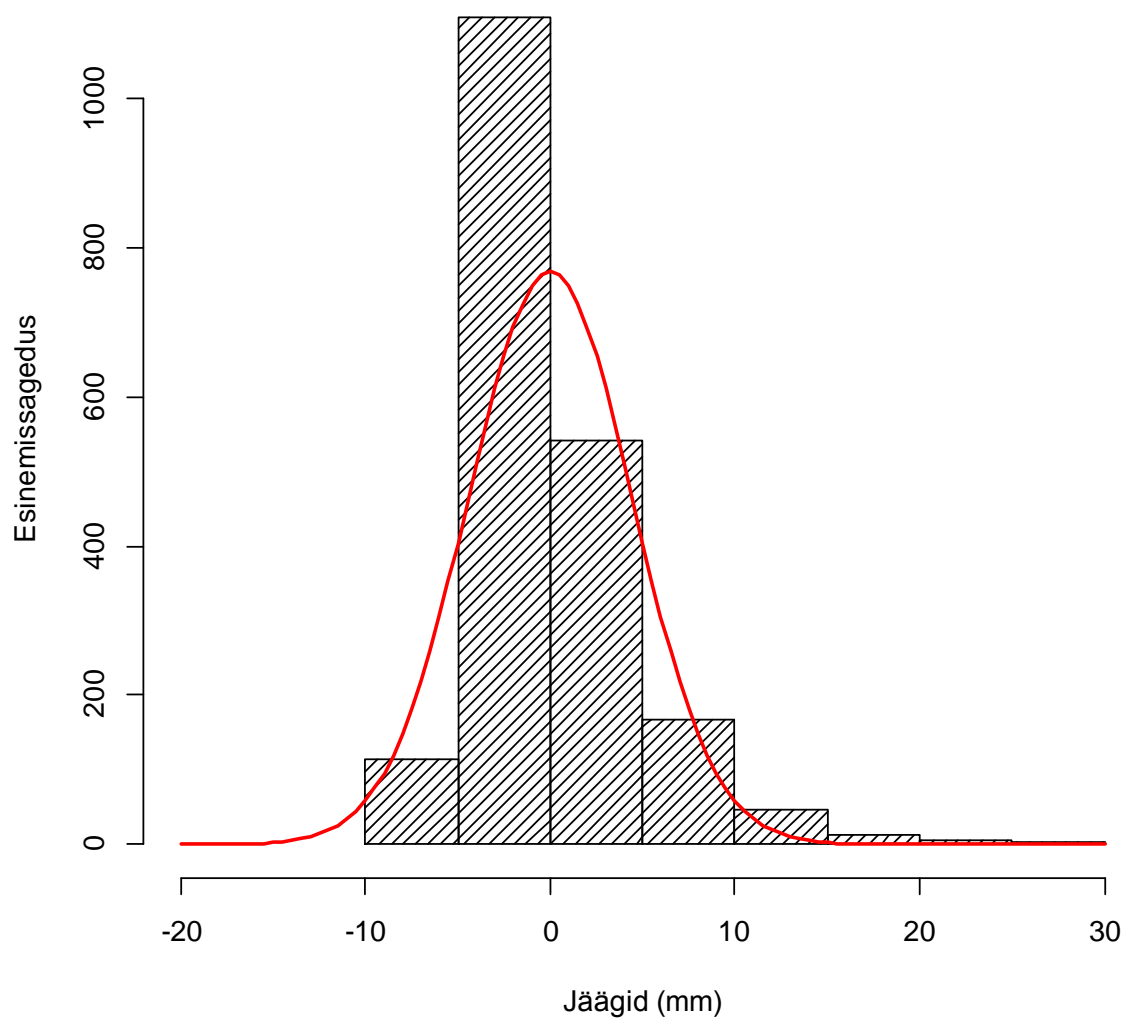
**Lisa 6. Sooja perioodi koore osakaalu jääkide sagedusdiagramm
normaajaotuse joonega**



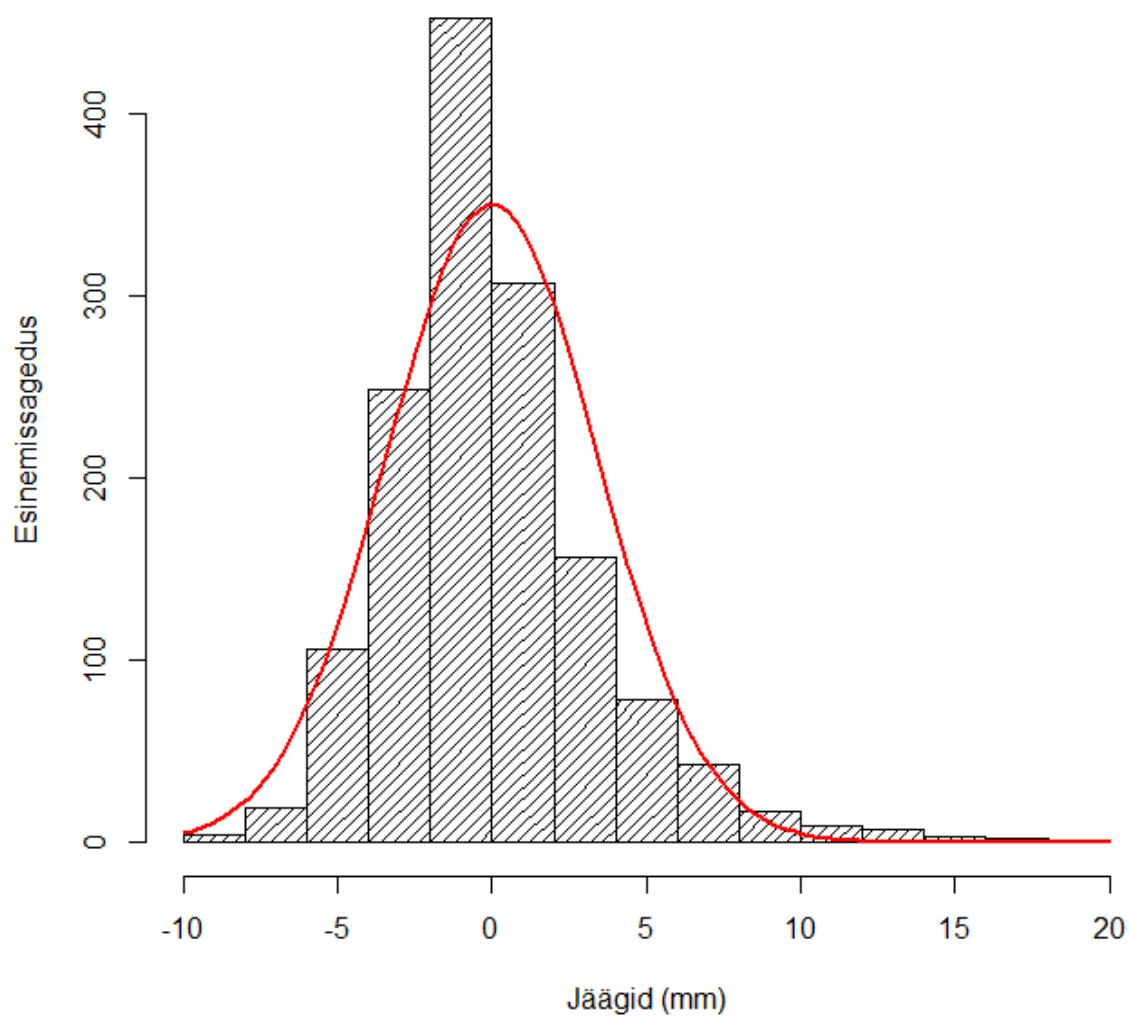
Lisa 7. Külma perioodi koore osakaalu jääkide sagedusdiagramm normaaljaotuse joonega



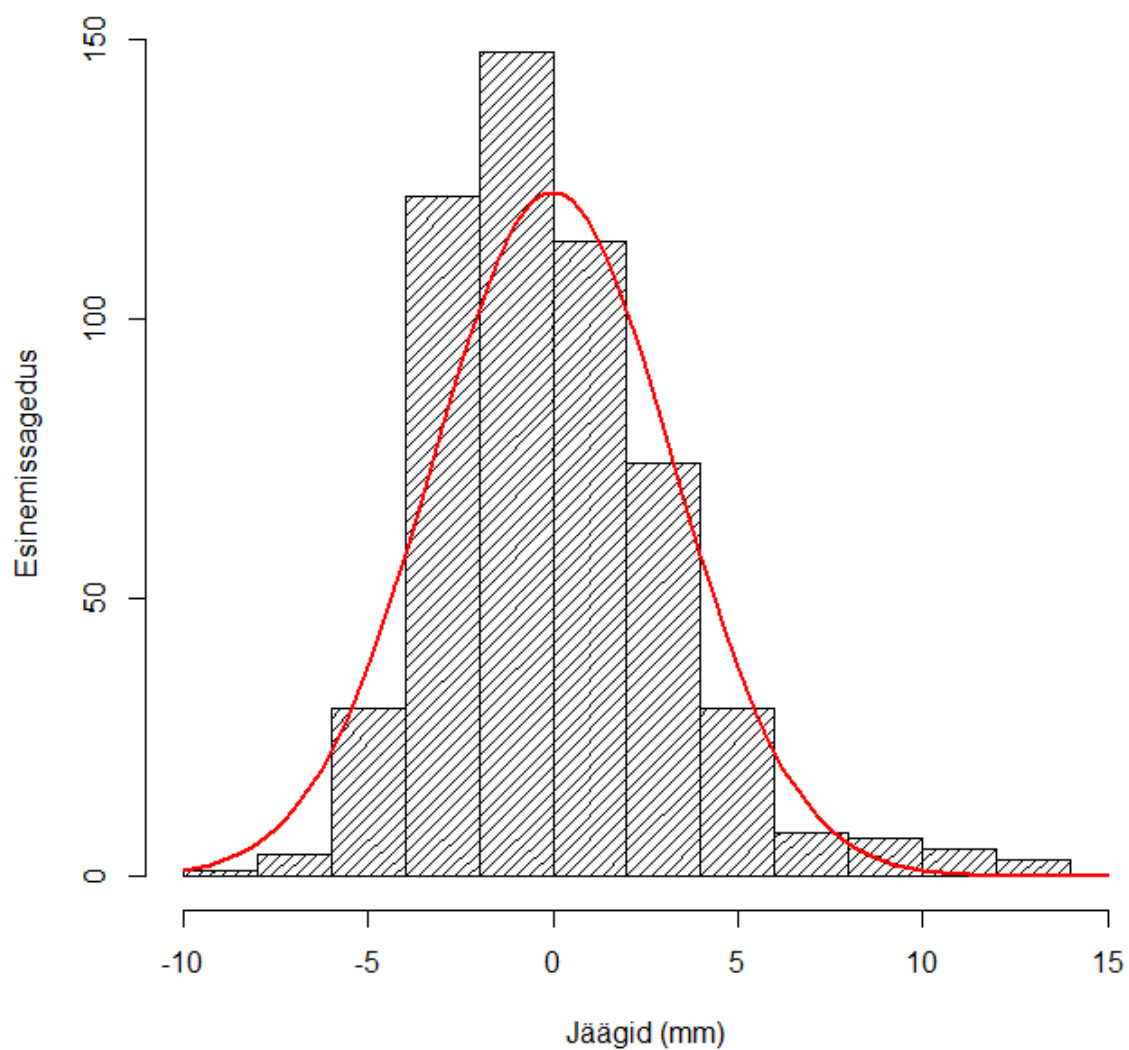
Lisa 8. Kahekordse koore paksuse jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega



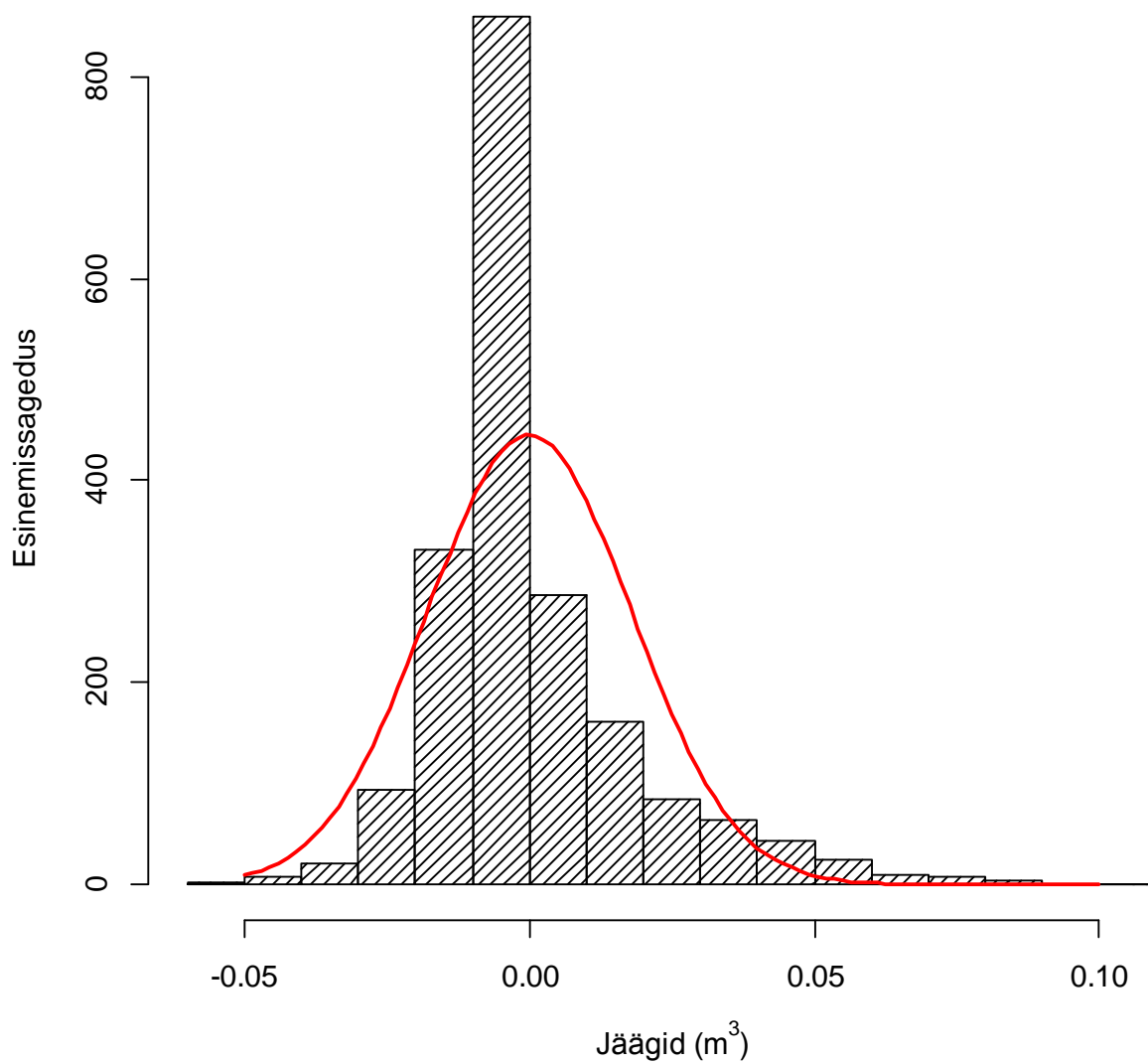
Lisa 9. Sooja perioodi kahekordse koore paksuse jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega



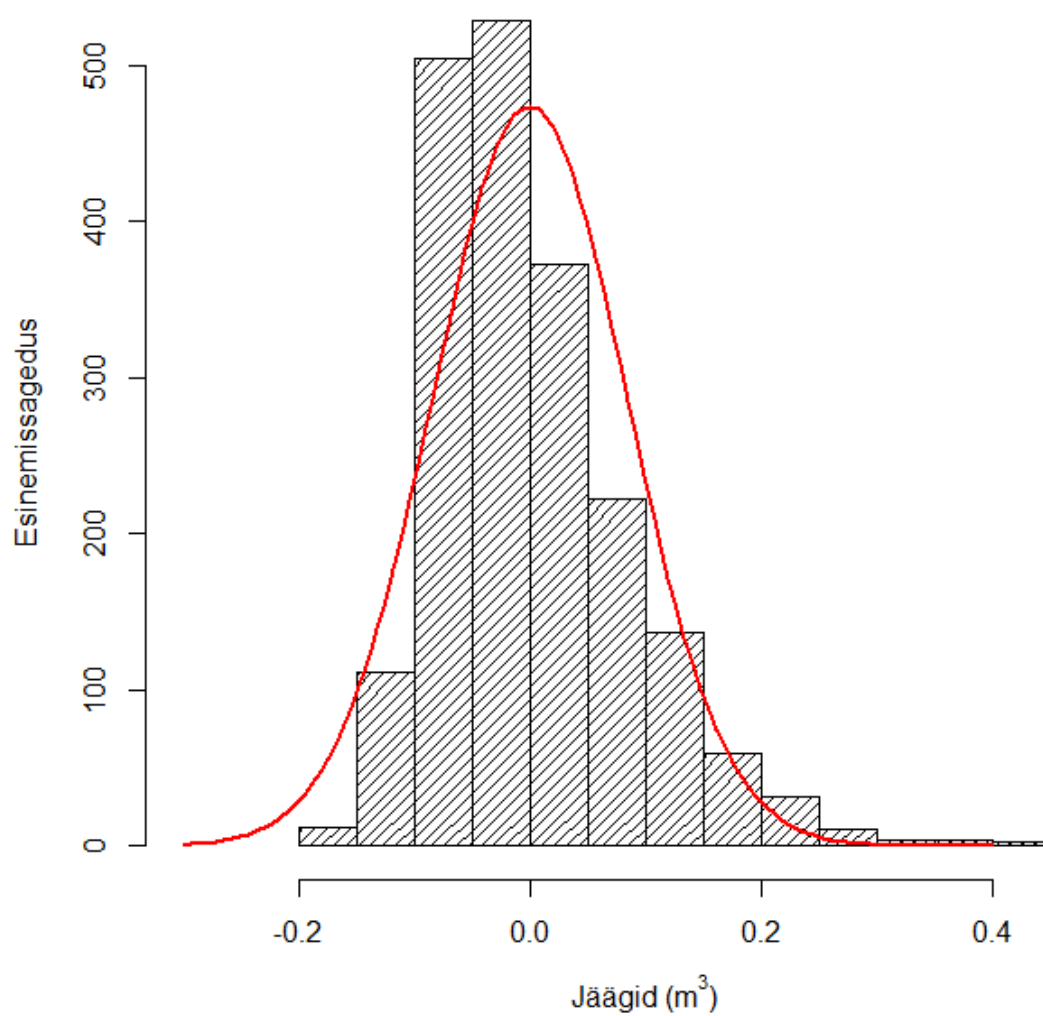
Lisa 10. Külma perioodi kahekordse koore paksuse jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega



Lisa 11. Punasüdamiku mahu jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega



Lisa 12. Punasüdamiku mahu jääkide sagedusdiagramm koos normaaljaotuse joonega



Lisa 13. Kahekordse koore paksuse sõltuvus diameetrist, koondtabel

Kahekordne koore paksus millimeetrites diameetrite kaupa (-3,5 °C kuni 7,5 °C)

Koor= $a_1 \cdot d^2 - a_2 \cdot d + a_3$ (mm)						$a_1 = 0,000109$				$a_2 = 0,0036$				$a_3 = 6,588$				$d = \text{Palgi diameeter koore pealt (mm)}$							
d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor
150	8,50	176	9,33	227	11,39	253	12,65	279	14,07	305	15,63	331	17,34	357	19,19	383	21,20	409	23,35	435	25,65	461	28,09	487	30,69
151	8,53	177	9,37	228	11,43	254	12,71	280	14,13	306	15,69	332	17,41	358	19,27	384	21,28	410	23,43	436	25,74	462	28,19	488	30,79
152	8,56	178	9,40	229	11,48	255	12,76	281	14,18	307	15,76	333	17,48	359	19,34	385	21,36	411	23,52	437	25,83	463	28,29	489	30,89
153	8,59	179	9,44	230	11,53	256	12,81	282	14,24	308	15,82	334	17,55	360	19,42	386	21,44	412	23,61	438	25,92	464	28,38	490	30,99
154	8,62	180	9,47	231	11,57	257	12,86	283	14,30	309	15,88	335	17,61	361	19,49	387	21,52	413	23,69	439	26,01	465	28,48	491	31,10
155	8,65	181	9,51	232	11,62	258	12,91	284	14,36	310	15,95	336	17,68	362	19,57	388	21,60	414	23,78	440	26,11	466	28,58	492	31,20
156	8,68	182	9,54	233	11,67	259	12,97	285	14,42	311	16,01	337	17,75	363	19,64	389	21,68	415	23,87	441	26,20	467	28,68	493	31,31
157	8,71	183	9,58	234	11,71	260	13,02	286	14,47	312	16,08	338	17,82	364	19,72	390	21,76	416	23,95	442	26,29	468	28,78	494	31,41
158	8,74	184	9,62	235	11,76	261	13,07	287	14,53	313	16,14	339	17,89	365	19,80	391	21,84	417	24,04	443	26,38	469	28,88	495	31,51
159	8,77	185	9,65	236	11,81	262	13,13	288	14,59	314	16,20	340	17,96	366	19,87	392	21,93	418	24,13	444	26,48	470	28,97	496	31,62
160	8,80	186	9,69	237	11,86	263	13,18	289	14,65	315	16,27	341	18,04	367	19,95	393	22,01	419	24,22	445	26,57	471	29,07	497	31,72
161	8,83	187	9,73	238	11,91	264	13,23	290	14,71	316	16,33	342	18,11	368	20,02	394	22,09	420	24,30	446	26,66	472	29,17	498	31,83
162	8,87	188	9,76	239	11,95	265	13,29	291	14,77	317	16,40	343	18,18	369	20,10	395	22,17	421	24,39	447	26,76	473	29,27	499	31,93
163	8,90	189	9,80	240	12,00	266	13,34	292	14,83	318	16,47	344	18,25	370	20,18	396	22,26	422	24,48	448	26,85	474	29,37	500	32,04
164	8,93	190	9,84	241	12,05	267	13,40	293	14,89	319	16,53	345	18,32	371	20,26	397	22,34	423	24,57	449	26,95	475	29,47	501	32,14
165	8,96	191	9,88	242	12,10	268	13,45	294	14,95	320	16,60	346	18,39	372	20,33	398	22,42	424	24,66	450	27,04	476	29,57	502	32,25
166	8,99	192	9,91	243	12,15	269	13,51	295	15,01	321	16,66	347	18,46	373	20,41	399	22,50	425	24,75	451	27,14	477	29,67	503	32,36
167	9,03	193	9,95	244	12,20	270	13,56	296	15,07	322	16,73	348	18,54	374	20,49	400	22,59	426	24,84	452	27,23	478	29,77	504	32,46
168	9,06	194	9,99	245	12,25	271	13,62	297	15,13	323	16,80	349	18,61	375	20,57	401	22,67	427	24,92	453	27,32	479	29,87	505	32,57
169	9,09	195	10,03	246	12,30	272	13,67	298	15,19	324	16,86	350	18,68	376	20,64	402	22,76	428	25,01	454	27,42	480	29,97	506	32,67
170	9,13	196	10,07	247	12,35	273	13,73	299	15,26	325	16,93	351	18,75	377	20,72	403	22,84	429	25,10	455	27,52	481	30,07	507	32,78
171	9,16	197	10,11	248	12,40	274	13,78	300	15,32	326	17,00	352	18,83	378	20,80	404	22,92	430	25,19	456	27,61	482	30,18	508	32,89
172	9,19	198	10,15	249	12,45	275	13,84	301	15,38	327	17,07	353	18,90	379	20,88	405	23,01	431	25,28	457	27,71	483	30,28	509	33,00
173	9,23	199	10,19	250	12,50	276	13,90	302	15,44	328	17,13	354	18,97	380	20,96	406	23,09	432	25,37	458	27,80	484	30,38	510	33,10
174	9,26	200	10,23	251	12,55	277	13,95	303	15,50	329	17,20	355	19,05	381	21,04	407	23,18	433	25,47	459	27,90	485	30,48	511	33,21
175	9,30	201	10,27	252	12,60	278	14,01	304	15,57	330	17,27	356	19,12	382	21,12	408	23,26	434	25,56	460	28,00	486	30,58	512	33,32

Lisa 14. Sooja perioodi kahekordse koore paksuse sõltuvus diameetrist, koondtabel

Sooja perioodi kahekordne koore paksus millimeetrites diameetrite kaupa (0 °C kuni 7,5 °C)

Koor= $a_1 \cdot d^2 - a_2 \cdot d + a_3$ (mm)						$a_1 = 0,0002$		$a_2 = 0,026$		$a_3 = 8,944$		d =Palgi diameeter koore pealt (mm)													
d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor
150	9,54	176	10,56	227	13,35	253	15,17	279	17,26	305	19,62	331	22,25	357	25,15	383	28,32	409	31,77	435	35,48	461	39,46	487	43,72
151	9,58	177	10,61	228	13,41	254	15,24	280	17,34	306	19,72	332	22,36	358	25,27	384	28,45	410	31,90	436	35,63	462	39,62	488	43,88
152	9,61	178	10,65	229	13,48	255	15,32	281	17,43	307	19,81	333	22,46	359	25,39	385	28,58	411	32,04	437	35,78	463	39,78	489	44,05
153	9,65	179	10,70	230	13,54	256	15,40	282	17,52	308	19,91	334	22,57	360	25,50	386	28,71	412	32,18	438	35,92	464	39,94	490	44,22
154	9,68	180	10,74	231	13,61	257	15,47	283	17,60	309	20,01	335	22,68	361	25,62	387	28,84	413	32,32	439	36,07	465	40,10	491	44,39
155	9,72	181	10,79	232	13,68	258	15,55	284	17,69	310	20,10	336	22,79	362	25,74	388	28,96	414	32,46	440	36,22	466	40,26	492	44,56
156	9,76	182	10,84	233	13,74	259	15,63	285	17,78	311	20,20	337	22,90	363	25,86	389	29,09	415	32,60	441	36,37	467	40,42	493	44,74
157	9,79	183	10,88	234	13,81	260	15,70	286	17,87	312	20,30	338	23,00	364	25,98	390	29,22	416	32,74	442	36,52	468	40,58	494	44,91
158	9,83	184	10,93	235	13,88	261	15,78	287	17,96	313	20,40	339	23,11	365	26,10	391	29,35	417	32,88	443	36,68	469	40,74	495	45,08
159	9,87	185	10,98	236	13,95	262	15,86	288	18,04	314	20,50	340	23,22	366	26,22	392	29,48	418	33,02	444	36,83	470	40,90	496	45,25
160	9,90	186	11,03	237	14,02	263	15,94	289	18,13	315	20,60	341	23,33	367	26,34	393	29,62	419	33,16	445	36,98	471	41,07	497	45,42
161	9,94	187	11,08	238	14,08	264	16,02	290	18,22	316	20,70	342	23,44	368	26,46	394	29,75	420	33,30	446	37,13	472	41,23	498	45,60
162	9,98	188	11,12	239	14,15	265	16,10	291	18,31	317	20,80	343	23,56	369	26,58	395	29,88	421	33,45	447	37,28	473	41,39	499	45,77
163	10,02	189	11,17	240	14,22	266	16,18	292	18,40	318	20,90	344	23,67	370	26,70	396	30,01	422	33,59	448	37,44	474	41,56	500	45,94
164	10,06	190	11,22	241	14,29	267	16,26	293	18,50	319	21,00	345	23,78	371	26,83	397	30,14	423	33,73	449	37,59	475	41,72	501	46,12
165	10,10	191	11,27	242	14,36	268	16,34	294	18,59	320	21,10	346	23,89	372	26,95	398	30,28	424	33,88	450	37,74	476	41,88	502	46,29
166	10,14	192	11,32	243	14,44	269	16,42	295	18,68	321	21,21	347	24,00	373	27,07	399	30,41	425	34,02	451	37,90	477	42,05	503	46,47
167	10,18	193	11,38	244	14,51	270	16,50	296	18,77	322	21,31	348	24,12	374	27,20	400	30,54	426	34,16	452	38,05	478	42,21	504	46,64
168	10,22	194	11,43	245	14,58	271	16,59	297	18,86	323	21,41	349	24,23	375	27,32	401	30,68	427	34,31	453	38,21	479	42,38	505	46,82
169	10,26	195	11,48	246	14,65	272	16,67	298	18,96	324	21,52	350	24,34	376	27,44	402	30,81	428	34,45	454	38,36	480	42,54	506	47,00
170	10,30	196	11,53	247	14,72	273	16,75	299	19,05	325	21,62	351	24,46	377	27,57	403	30,95	429	34,60	455	38,52	481	42,71	507	47,17
171	10,35	197	11,58	248	14,80	274	16,84	300	19,14	326	21,72	352	24,57	378	27,69	404	31,08	430	34,74	456	38,68	482	42,88	508	47,35
172	10,39	198	11,64	249	14,87	275	16,92	301	19,24	327	21,83	353	24,69	379	27,82	405	31,22	431	34,89	457	38,83	483	43,04	509	47,53
173	10,43	199	11,69	250	14,94	276	17,00	302	19,33	328	21,93	354	24,80	380	27,94	406	31,36	432	35,04	458	38,99	484	43,21	510	47,70
174	10,48	200	11,74	251	15,02	277	17,09	303	19,43	329	22,04	355	24,92	381	28,07	407	31,49	433	35,18	459	39,15	485	43,38	511	47,88
175	10,52	201	11,80	252	15,09	278	17,17	304	19,52	330	22,14	356	25,04	382	28,20	408	31,63	434	35,33	460	39,30	486	43,55	512	48,06

Lisa 15. Külma perioodi kahekordse koore paksuse sõltuvus diameetrist, koondtabel

Külma perioodi kahekordne koore paksus millimeetrites diameetrite kaupa (-3,5 °C kuni 0 °C)

Koor= $a_1 \cdot d^2 - a_2 \cdot d + a_3$ (mm)						$a_1 = -0,000005$		$a_2 = -0,0482$		$a_3 = 1,296$		d =Palgi diameeter koore pealt (mm)													
d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor
150	8,41	176	9,62	227	11,98	253	13,17	279	14,35	305	15,53	331	16,70	357	17,87	383	19,02	409	20,17	435	21,32	461	22,45	487	23,58
151	8,46	177	9,67	228	12,03	254	13,22	280	14,40	306	15,58	332	16,75	358	17,91	384	19,07	410	20,22	436	21,36	462	22,50	488	23,63
152	8,51	178	9,72	229	12,07	255	13,26	281	14,45	307	15,62	333	16,79	359	17,96	385	19,11	411	20,26	437	21,40	463	22,54	489	23,67
153	8,55	179	9,76	230	12,12	256	13,31	282	14,49	308	15,67	334	16,84	360	18,00	386	19,16	412	20,31	438	21,45	464	22,58	490	23,71
154	8,60	180	9,81	231	12,16	257	13,35	283	14,54	309	15,71	335	16,88	361	18,04	387	19,20	413	20,35	439	21,49	465	22,63	491	23,76
155	8,65	181	9,86	232	12,21	258	13,40	284	14,58	310	15,76	336	16,93	362	18,09	388	19,24	414	20,39	440	21,54	466	22,67	492	23,80
156	8,69	182	9,90	233	12,26	259	13,44	285	14,63	311	15,80	337	16,97	363	18,13	389	19,29	415	20,44	441	21,58	467	22,71	493	23,84
157	8,74	183	9,95	234	12,30	260	13,49	286	14,67	312	15,85	338	17,02	364	18,18	390	19,33	416	20,48	442	21,62	468	22,76	494	23,89
158	8,79	184	10,00	235	12,35	261	13,54	287	14,72	313	15,89	339	17,06	365	18,22	391	19,38	417	20,53	443	21,67	469	22,80	495	23,93
159	8,83	185	10,04	236	12,39	262	13,58	288	14,76	314	15,94	340	17,11	366	18,27	392	19,42	418	20,57	444	21,71	470	22,85	496	23,97
160	8,88	186	10,09	237	12,44	263	13,63	289	14,81	315	15,98	341	17,15	367	18,31	393	19,47	419	20,61	445	21,75	471	22,89	497	24,02
161	8,93	187	10,13	238	12,48	264	13,67	290	14,85	316	16,03	342	17,20	368	18,36	394	19,51	420	20,66	446	21,80	472	22,93	498	24,06
162	8,97	188	10,18	239	12,53	265	13,72	291	14,90	317	16,07	343	17,24	369	18,40	395	19,55	421	20,70	447	21,84	473	22,98	499	24,10
163	9,02	189	10,23	240	12,58	266	13,76	292	14,94	318	16,12	344	17,29	370	18,45	396	19,60	422	20,75	448	21,89	474	23,02	500	24,15
164	9,07	190	10,27	241	12,62	267	13,81	293	14,99	319	16,16	345	17,33	371	18,49	397	19,64	423	20,79	449	21,93	475	23,06	501	24,19
165	9,11	191	10,32	242	12,67	268	13,85	294	15,03	320	16,21	346	17,37	372	18,53	398	19,69	424	20,83	450	21,97	476	23,11	502	24,23
166	9,16	192	10,37	243	12,71	269	13,90	295	15,08	321	16,25	347	17,42	373	18,58	399	19,73	425	20,88	451	22,02	477	23,15	503	24,28
167	9,21	193	10,41	244	12,76	270	13,95	296	15,13	322	16,30	348	17,46	374	18,62	400	19,78	426	20,92	452	22,06	478	23,19	504	24,32
168	9,25	194	10,46	245	12,80	271	13,99	297	15,17	323	16,34	349	17,51	375	18,67	401	19,82	427	20,97	453	22,10	479	23,24	505	24,36
169	9,30	195	10,50	246	12,85	272	14,04	298	15,22	324	16,39	350	17,55	376	18,71	402	19,86	428	21,01	454	22,15	480	23,28	506	24,41
170	9,35	196	10,55	247	12,90	273	14,08	299	15,26	325	16,43	351	17,60	377	18,76	403	19,91	429	21,05	455	22,19	481	23,32	507	24,45
171	9,39	197	10,60	248	12,94	274	14,13	300	15,31	326	16,48	352	17,64	378	18,80	404	19,95	430	21,10	456	22,24	482	23,37	508	24,49
172	9,44	198	10,64	249	12,99	275	14,17	301	15,35	327	16,52	353	17,69	379	18,85	405	20,00	431	21,14	457	22,28	483	23,41	509	24,53
173	9,48	199	10,69	250	13,03	276	14,22	302	15,40	328	16,57	354	17,73	380	18,89	406	20,04	432	21,19	458	22,32	484	23,45	510	24,58
174	9,53	200	10,74	251	13,08	277	14,26	303	15,44	329	16,61	355	17,78	381	18,93	407	20,09	433	21,23	459	22,37	485	23,50	511	24,62
175	9,58	201	10,78	252	13,12	278	14,31	304	15,49	330	16,66	356	17,82	382	18,98	408	20,13	434	21,27	460	22,41	486	23,54	512	24,66

